

**PENGARUH PERKUATAN MORTAR JAKET DENGAN VARIASI  
JARAK SENGKANG BAMBU PADA KOLOM BETON BERTULANG  
YANG MENGALAMI BEBAN PUNCAK**

**SKRIPSI  
TEKNIK SIPIL**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**ZULAIKA NUR JANNAH  
NIM. 155060100111002**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2018**

**LEMBAR PENGESAHAN****PENGARUH PERKUATAN MORTAR JAKET DENGAN VARIASI  
JARAK SENGKANG BAMBU PADA KOLOM BETON BERTULANG  
YANG MENGALAMI BEBAN PUNCAK****SKRIPSI  
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ZULAIKA NUR JANNAH**  
**NIM. 155060100111002**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 20 Desember 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D**  
NIP. 19740619 200012 1 002

**Christin Remayanti N, ST., MT.**  
NIP. 19840325 201504 2 001

Mengetahui,  
Ketua Program Studi S1

**Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac.)**  
NIP. 19810220 200604 1 002



## HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

JUDUL SKRIPSI:

PENGARUH PERKUATAN MORTAR JAKET DENGAN VARIASI JARAK  
SENGKANG BAMBUR PADA KOLOM BETON BERTULANG YANG MENGALAMI  
BEBAN PUNCAK

Nama Mahasiswa : Zulaika Nur Jannah

NIM : 155060100111002

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

### TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji I : Dr. Eng Indradi W, ST, M.Eng (Prac.).

Dosen Penguji II : Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D.

Dosen Penguji III : Christin Remayanti N., ST., MT.

Tanggal Ujian : 19 Desember 2018

SK Penguji : /UN10.F07/PP/2018

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

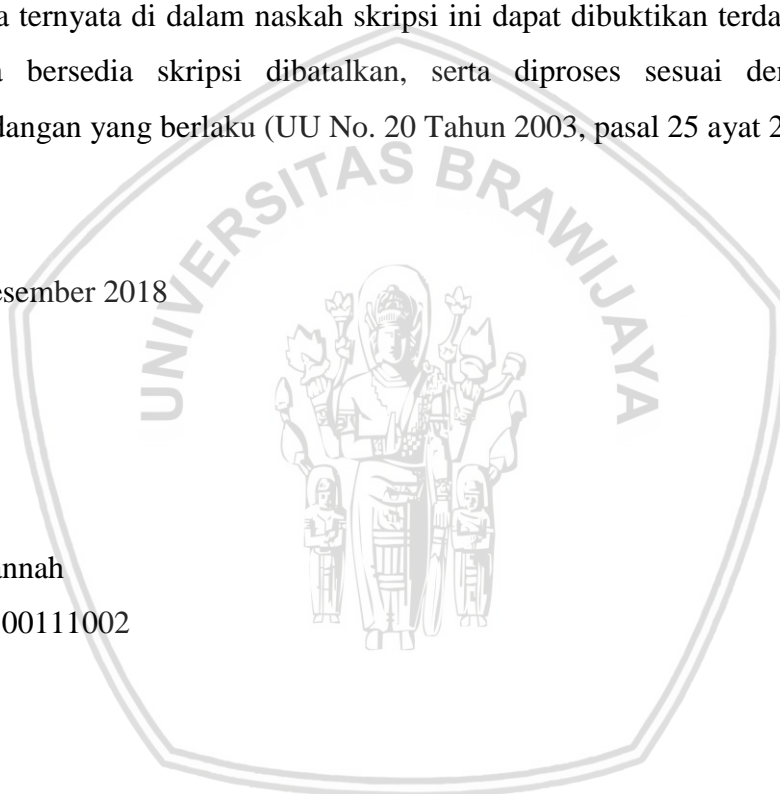
Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 20 Desember 2018

Mahasiswa,

Zulaika Nur Jannah

NIM. 155060100111002



## RIWAYAT HIDUP

Zulaika Nur Jannah lahir di Probolinggo, 12 Agustus 1997. Anak dari Bapak Sunarto dan Ibu Siti Fatimah Lulus SD di MI Miftahul Huda pada tahun 2009. Setelah itu lulus SMP di MTs. Negeri Probolinggo tahun 2012. Selanjutnya lulus SMA di SMAN 4 Kota Probolinggo tahun 2015. Kemudian melanjutkan studi di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dan lulus tahun 2018.

Selama menjalani studi di Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang penulis pernah mengikuti kompetisi *Eartquake Resisistant Design Competition* (ERDC) di Universitas Kristen Petra, Surabaya tahun 2016 dan 2017, menjadi Finalis Kompetisi Bangunan Gedung Indonesia (KBGI) IX di Politeknik Negeri Malang tahun 2017, dan menjadi finalis Kompetisi IDEERS 2018 di Taiwan. Selain itu penulis pernah menjadi Asisten Tugas Besar Analisis Struktur I serta Asisten Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi.

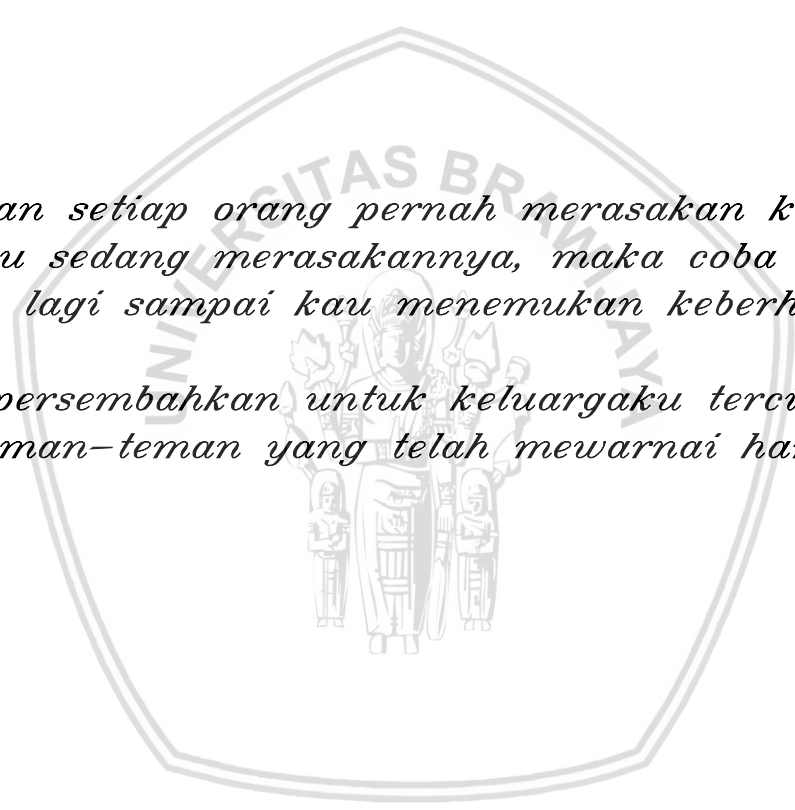
Malang, 20 Desember 2018

Penulis



*Bahkan setiap orang pernah merasakan kegagalan,  
jika kau sedang merasakannya, maka coba coba dan  
coba lagi sampai kau menemukan keberhasilanmu*

*Kupersembahkan untuk keluargaku tercinta serta  
teman-teman yang telah mewarnai hari-hariku*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis diberikan kelancaran dan kemampuan untuk menyelesaikan sebuah skripsi yang penuh akan kenangan dan pelajaran dengan judul “Pengaruh Jarak Sengkang Bambu dari Perkuatan Mortar Jacket pada Kolom Beton Bertulang yang Mengalami Beban Puncak”. Penulisan skripsi ini ditulis untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Skripsi ini mungkin tidak dapat diselesaikan dengan baik dan sempurna ini tanpa bimbingan dan bantuan secara teknis maupun non teknis dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Keluarga Saya di Rumah yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan moral kepada saya tidak hanya dalam menyelesaikan skripsi, melainkan disemua kegiatan yang saya lakukan di Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
2. Bapak Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo., ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D selaku Dosen Pembimbing I.
4. Ibu Christin Remayanti N., ST., MT selaku Dosen Pembimbing II.
5. Bapak Dr. Eng Indradi W., ST, M.Eng (Prac) yang juga tidak lupa membantu dan memberikan beberapa saran kepada saya dan tim penelitian dalam menyusun skripsi ini.
6. Dr. Ir. Wisnumurti., MT., selaku KKJF Struktur.
7. Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS. selaku dosen penasehat akademik saya yang telah membimbing saya sejak awal di Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
8. Tim Penelitian Skripsi (Nurmadinah J, M. Ainur Rofik, Dodi Rajendra, Griffin Septian H, Benediktus Rendy D) yang telah menemani suka dan duka selama mengerjakan skripsi ini.
9. Alfabet (Ajit Rachmatsyah, Nurmadinah J, M. Ainur Rofik, Ardian Subhan), selaku rekan seperjuangan di beberapa kompetisi yang telah memberikan pengalaman luar biasa dan tidak terlupakan serta mewarnai kehidupan saya selama di Teknik Sipil.
10. Keluarga Departemen Amara serta keluarga Asisten Mekanika Tanah, yang telah memberikan banyak pelajaran berharga baik dalam dunia kompetisi maupun organisasi.

11. Keluarga Besar Mahasiswa Sipil Universitas Brawijaya, khususnya angkatan 2015 yang telah membantu selama penelitian ini berlangsung.

Dan masih banyak nama lainnya yang sudah membantu baik secara langsung maupun tidak bisa saya tulis di atas. Sekali lagi saya ucapkan terimakasih atas bantuan selama proses sebelum, pada saat, dan sesudah penelitian dilakukan. Hanya ucapan terimakasih sementara yang bisa saya ucapkan, semoga kebaikan pihak-pihak yang sudah tertulis dan belum sempat tertulis dibalas oleh kebaikan yang lebih dan dicatat amal baiknya.

Akhir kata, saya sadari bahwa tulisan dalam skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu segala kritik dan saran yang positif sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Besar harapan saya semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan bisa digunakan sebagaimana mestinya.

Malang, 11 Desember 2018

Penyusun



## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI .....	iii
DAFTAR TABEL .....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
RINGKASAN.....	xvii
<i>SUMMARY</i> .....	xix
DAFTAR SIMBOL.....	xxi
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Tujuan.....	3
1.6 Manfaat .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Penelitian Terdahulu .....	5
2.2 Beton Bertulang .....	6
2.2.1 Kelebihan dan Kekurangan Beton Bertulang .....	7
2.2.2 Tegangan dan Regangan pada Beton Bertulang.....	8
2.2.3 Perilaku Tegangan-Regangan Beton Bertulang .....	8
2.3 Mortar .....	10
2.3.1 Kelebihan Mortar.....	10
2.3.2 Kekurangan Mortar.....	10
2.4 Tulangan Utama.....	10
2.5 Sengkang.....	12
2.5.1 Pengaruh Sengkang .....	12
2.6 Bambu .....	16
2.6.1 Bambu Petung .....	16
2.6.2 Bambu Apus .....	16
2.6.3 Kuat Tarik Bambu .....	16
2.6.4 Kuat Tekan Bambu.....	18
2.6.5 Perlakuan Bambu sebagai Tulangan.....	18

2.7	Kolom .....	19
2.7.1	Kolom Pendek dengan Beban Aksial .....	20
2.8	Modulus Elastisitas .....	21
2.9	Kekakuan .....	22
2.10	Daktilitas .....	23
2.11	Perkuatan Kolom dengan Metode <i>Mortar Jacket</i> .....	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....		27
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian .....	27
3.2	Bahan Penelitian .....	27
3.2.1	Pozzolan Portland Cement .....	27
3.2.2	Agregat .....	27
3.2.3	Air .....	27
3.2.4	Tulangan Baja .....	28
3.2.5	Tulangan Bambu .....	28
3.2.6	Bahan Perekat Beton .....	28
3.3	Peralatan Penelitian .....	28
3.3.1	Saringan .....	28
3.3.2	Timbangan .....	28
3.3.3	Mesin Pengaduk Beton .....	29
3.3.4	Cetakan Benda Uji .....	29
3.3.5	Alat Uji Tekan .....	29
3.3.6	Alat Uji Tarik .....	29
3.3.7	Dial Gauge Digital .....	29
3.3.8	Alat Bantu Lainnya .....	29
3.4	Tahapan Penelitian .....	30
3.5	Rancangan Penelitian .....	31
3.6	Variabel Penelitian .....	38
3.7	Prosedur Penelitian .....	38
3.7.1	Pengujian Bahan Dasar .....	38
3.7.2	Pembuatan Benda Uji .....	38
3.7.3	Perawatan Benda Uji .....	39
3.7.4	Pengujian Kuat Tekan .....	39
3.7.5	Pengujian Kuat Tarik .....	40



3.8	Metode Analisis .....	42
3.8.1	Pengumpulan Data.....	42
3.8.2	Pengolahan Data .....	43
3.9	Hipotesis Penelitian .....	49
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....		51
4.1	Analisis Material Penyusun Benda Uji .....	51
4.1.1	Agregat Halus .....	51
4.1.2	Agregat Kasar .....	51
4.1.3	Semen .....	51
4.1.4	Air.....	51
4.1.5	Tulangan Baja.....	52
4.2	Campuran Beton .....	53
4.3	Campuran Mortar.....	53
4.4	Uji Slump Beton .....	53
4.5	Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Silinder.....	54
4.6	Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Mortar .....	56
4.7	Proses Perawatan ( <i>curing</i> ) .....	58
4.8	Pengujian Kuat Beban Aksial Kolom .....	58
4.9	Pembahasan .....	65
4.9.1	Hubungan Gaya Tekan dan Defleksi Kolom Asli dengan Kolom Retrofit ...	65
4.9.1.1	Kolom Asli A.1 – Kolom Retrofit A.1 .....	67
4.9.1.1	Kolom Asli A.2 – Kolom Retrofit A.2.....	73
4.9.1.3	Kolom Asli B.1 – Kolom Retrofit B.1 .....	78
4.9.1.4	Kolom Asli B.2 – Kolom Retrofit B.2 .....	83
4.9.2	Hubungan Tegangan dan Regangan Kolom Asli dengan Kolom Retrofit ....	89
4.9.2.1	Kolom Asli A.1 – Kolom Retrofit A.1 .....	91
4.9.2.2	Kolom Asli A.2 – Kolom Retrofit A.2.....	96
4.9.2.3	Kolom Asli B.1 – Kolom Retrofit B.1 .....	101
4.9.2.4	Kolom Asli B.2 – Kolom Retrofit B.2 .....	106
4.9.3	Daktilitas Kolom Asli dengan Kolom Retrofit.....	111
4.10	Efektifitas Kolom Retrofit .....	116
4.10.1	Efektifitas Kolom Retrofit A1 dengan Kolom Retrofit A2.....	116
4.10.2	Efektifitas Kolom Retrofit B1 dengan Kolom Retrofit B2 .....	119
BAB V PENUTUP .....		123
5.1	Kesimpulan .....	123

5.2	Saran .....	124
DAFTAR PUSTAKA.....		137
LAMPIRAN.....		139



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Penelitian Terdahulu.....	5
Tabel 2. 2. Rentang frekuensi gelombang mekanik longitudinal .....	17
Tabel 2. 3. Tegangan tarik bambu kering oven tanpa nodia dan dengan nodia .....	17
Tabel 2. 4. Kuat tekan bambu petung .....	18
 Tabel 3. 1. Penelitian benda uji mortar dengan presentase bahan yang berbeda .....	25
Tabel 3. 2. Penelitian kolom retrofit dengan variasi tulangan bambu dan jarak sengkang yang berbeda.....	25
Tabel 3. 3. Jumlah benda uji.....	26
Tabel 3. 4. Form pengumpulan data dari pengujian kuat tekan beton silinder untuk sampel kolom asli dan kolom retrofit. ....	42
Tabel 3. 5. Form pengumpulan data dari pengujian kuat beban aksial kolom asli dan kolom retrofit. ....	42
Tabel 3. 6. Form pengumpulan data dari pengujian uji tarik tulangan baja Ø6 mm dan D10 mm.....	43
Tabel 3. 7. Tabel pengolahan data gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit.....	44
Tabel 3. 8. Tabel pengolahan data gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit	44
Tabel 3. 9. Tabel pengolahan data tegangan dan regangan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit.....	44
Tabel 3. 10. Tabel pengolahan data tegangan dan regangan kolom asli dan kolom retrofit	45
Tabel 3. 11. Tabel pengolahan data daktilitas pada kolom asli dan kolom retrofit.....	45
 Tabel 4. 1. Uji Tulangan Baja (sengkang) Ø6 mm.....	52
Tabel 4. 2. Uji Tulangan Baja (tulangan utama) D10 mm .....	52
Tabel 4. 3. Uji Tulangan Bambu Petung (tulangan utama) 10x10mm.....	52
Tabel 4. 4. Uji Tulangan Bambu Petung (tulangan utama) 10x5mm.....	53
Tabel 4. 5. Uji Tulangan Bambu Apus (sengkang) 10x5mm.....	53
Tabel 4. 6. Hasil Uji Slump Beton Silinder untuk Benda Uji Kolom Asli.....	54
Tabel 4. 7. Hasil uji kuat tekan benda uji silinder beton (sampel benda uji kolom asli).....	54
Tabel 4. 8. Hasil uji kuat tekan benda uji mortar .....	56

Tabel 4. 9. Hasil kuat beban aksial kolom asli .....	59
Tabel 4. 10. Hasil kuat beban aksial rata-rata kolom asli .....	59
Tabel 4. 11. Hasil kuat beban aksial kolom retrofit .....	60
Tabel 4. 12. Hasil kuat beban aksial rata-rata kolom retrofit .....	61
Tabel 4. 13. Tabel data gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit .....	66
Tabel 4. 14. Tabel data rata –rata gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit .....	66
Tabel 4. 15. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom asli A.1 .....	67
Tabel 4. 16. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom retrofit A.1 .....	68
Tabel 4. 17. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom asli A.2 .....	73
Tabel 4. 18. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom retrofit A.2 .....	73
Tabel 4. 19. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom asli B.1 .....	78
Tabel 4. 20. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom retrofit B.1 .....	78
Tabel 4. 21. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom asli B.2 .....	83
Tabel 4. 22. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom retrofit B.2 .....	84
Tabel 4. 23. Tabel data tegangan dan regangan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit .....	89
Tabel 4. 24. Tabel data rata –rata tegangan dan regangan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit .....	90
Tabel 4. 25. Tabel tegangan dan regangan kolom asli A.1 .....	91
Tabel 4. 26. Tabel tegangan dan regangan kolom retrofit A.1 .....	91
Tabel 4. 27. Tabel tegangan dan regangan kolom asli A.2. ....	96
Tabel 4. 28. Tabel tegangan dan regangan kolom retrofit A.2 .....	97
Tabel 4. 29. Tabel tegangan dan regangan kolom asli B.1 .....	101
Tabel 4. 30. Tabel tegangan dan regangan kolom retrofit B.1 .....	101
Tabel 4. 31. Tabel tegangan dan regangan kolom asli B.2 .....	106
Tabel 4. 32. Tabel tegangan dan regangan kolom retrofit B.2 .....	107
Tabel 4. 33. Tabel daktilitas pada kolom asli dan kolom retrofit .....	112
Tabel 4. 34. Tabel peningkatan Gaya Tekan Maksimum, Kekakuan, Modulus Elastisitas dan Daktilitas kolom retrofit A.1 dan kolom retrofit A.2 .....	117
Tabel 4. 35. Tabel perbandingan efektifitas kolom retrofit A.1 dengan kolom retrofit A.2 .....	117

Tabel 4. 36. Tabel peningkatan Gaya Tekan Maksimum, Kekakuan, Modulus Elastisitas dan Daktilitas kolom retrofit B.1 dan kolom retrofit B.2 .....	120
Tabel 4. 37. Tabel perbandingan efektifitas kolom retrofit B.1 dengan kolom retrofit B.2 .....	120





x

- Halaman ini sengaja dikosongkan -



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Hubungan tegangan-regangan beton terkekang dan beton tidak terkekang ....	9
Gambar 2. 2. Pengekangan dengan tulangan sengkang dan tulangan utama .....	13
Gambar 2. 3. Variasi tegangan pengekok akibat jumlah dan susunan tulangan.....	13
Gambar 2. 4. Efektifitas pengekokan dari sengkang persegi dan spiral .....	14
Gambar 2. 5. Jarak antar sengkang mempengaruhi efektifitas pengekokan.....	15
Gambar 2. 6. Efek konfigurasi dan jarak sengkang : (a) Konfigurasi sengkang yang kurang baik dengan jarak yang lebar ; (b) konfigurasi yang baik dengan jarak yang rapat .....	15
Gambar 2. 7. Hubungan tegangan-regangan bambu dan baja .....	18
Gambar 2. 8. Variasi jenis kolom, (a) Kolom Persegi, (b) Kolom Bulat, (c) Kolom Komposit .....	19
Gambar 2. 9. Grafik Hubungan Tegangan Regangan (tangen dan secan modulus).....	21
Gambar 2. 10. Grafik gaya tekan dan deformasi material yang dibebani aksial .....	22
Gambar 2. 11. Beberapa Alternatif Pengambilan Lendutan pada Titik Leleh .....	23
Gambar 2. 12. Grafik Nilai Daktilitas .....	24
Gambar 2. 13. Tampak atas kolom dengan perkuatan concrete jacketing. ....	24
 Gambar 3. 1. Diagram alir tahapan penelitian.....	 30
Gambar 3. 2. Benda uji kolom asli .....	33
Gambar 3. 3. Detail benda uji kolom retrofit A1.....	34
Gambar 3. 4. Detail benda uji kolom A2.....	35
Gambar 3. 5. Detail benda uji kolom B1 .....	36
Gambar 3. 6. Detai benda uji kolom B2.....	37
Gambar 3. 7. Skema Tipikal Pengujian Benda Uji Kolom Utama dan Retrofit.....	41
Gambar 3. 8. Grafik perbandingan kuat tekan beton uji silinder kolom asli dengan kolom retrofit. ....	45
Gambar 3. 9. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli dengan retrofit .....	46
Gambar 3. 10. Grafik gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit .....	46
Gambar 3. 11. Grafik tegangan dan regangan kolom asli dan kolom retrofit .....	47
Gambar 3. 12. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit .....	47



Gambar 3. 13. Grafik perbandingan tegangan dan regangan kolom asli dan kolom retrofit .....	48
Gambar 3. 14. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dengan kolom retrofit.....	48
Gambar 3. 15. Grafik perbandingan tegangan dan regangan kolom asli dengan kolom retrofit.....	49
Gambar 4. 1. Grafik hasil uji kuat tekan beton silinder kolom asli.....	55
Gambar 4. 2. Grafik hasil uji kuat tekan mortar.....	57
Gambar 4. 3. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli A1 dengan kolom retrofit A1 .....	63
Gambar 4. 4. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli A2 dengan kolom retrofit A2 .....	63
Gambar 4. 5. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli B1 dengan kolom retrofit B1 .....	64
Gambar 4. 6. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli B2 dengan kolom retrofit B2 .....	64
Gambar 4. 7. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.1.1 dengan kolom retrofit A.1.1.....	70
Gambar 4. 8. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.1.2 dengan kolom retrofit A.1.2.....	71
Gambar 4. 9. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.1.3 dengan kolom retrofit A.1.3.....	71
Gambar 4. 10. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.1 dengan kolom retrofit A.1.....	72
Gambar 4. 11. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.2.1 dengan kolom retrofit A.2.1 .....	75
Gambar 4. 12. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.2.2 dengan kolom retrofit A.2.2.....	75
Gambar 4. 13. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.2 dengan kolom retrofit A.2.....	77
Gambar 4. 14. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.1.1 dengan kolom retrofit B.1.1 .....	81



Gambar 4. 15. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.1.2 dengan kolom retrofit B.1.2 .....	81
Gambar 4. 16. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.1.3 dengan kolom retrofit B.1.3 .....	82
Gambar 4. 17. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.1 dengan kolom retrofit B.1 .....	82
Gambar 4. 18. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.2.1 dengan kolom retrofit B.2.1 .....	86
Gambar 4. 19. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.2.2 dengan kolom retrofit B.2.2 .....	87
Gambar 4. 20. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.2.3 dengan kolom retrofit B.2.3 .....	87
Gambar 4. 21. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.2 dengan kolom retrofit B.2 .....	88
Gambar 4. 22. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli A.1.1 dengan kolom retrofit A.1.1 .....	94
Gambar 4. 23. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli A.1.2 dengan kolom retrofit A.1.2 .....	94
Gambar 4. 24. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli A.1.3 dengan kolom retrofit A.1.3 .....	95
Gambar 4. 25. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli A.1 dengan kolom retrofit A.1 .....	95
Gambar 4. 26. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli A.2.1 dengan kolom retrofit A.2.1 .....	99
Gambar 4. 27. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli A.2.2 dengan kolom retrofit A.2.2 .....	99
Gambar 4. 28. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli A.2 dengan kolom retrofit A.2 .....	100
Gambar 4. 29. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.1.1 dengan kolom retrofit B.1.1 .....	104
Gambar 4. 30. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.1.2 dengan kolom retrofit B.1.2 .....	104
Gambar 4. 31. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.1.3 dengan kolom retrofit B.1.3 .....	105

Gambar 4. 32 . Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.1 dengan kolom retrofit B.1 .....	105
Gambar 4. 33. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.2.1 dengan kolom retrofit B.2.1 .....	109
Gambar 4. 34. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.2.2 dengan kolom retrofit B.2.2 .....	109
Gambar 4. 35. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.2.3 dengan kolom retrofit B.2.3 .....	110
Gambar 4. 36. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.2 dengan kolom retrofit B.2 .....	110
Gambar 4. 37. Grafik perbandingan daktilitas kolom asli A.1 dengan kolom retrofit A.1	113
Gambar 4. 38. Grafik perbandingan daktilitas kolom asli A.2 dengan kolom retrofit A.2	114
Gambar 4. 39. Grafik perbandingan daktilitas kolom asli B.1 dengan kolom retrofit B.1	115
Gambar 4. 40. Grafik perbandingan daktilitas kolom asli B.2 dengan kolom retrofit B.2	116
Gambar 4. 41. Grafik perbandingan hasil gaya tekan-defleksi dan hasil kekakuan kolom retrofit A.1-A.2.....	118
Gambar 4. 42. Grafik perbandingan tegangan-regangan dan hasil modulus elastisitas kolom kolom retrofit A.1-A.2 .....	119
Gambar 4. 43. Grafik perbandingan hasil gaya tekan-defleksi dan hasil kekakuan kolom retrofit B.1-B.2 .....	121
Gambar 4. 44. Grafik perbandingan tegangan-regangan dan hasil modulus elastisitas kolom asli dengan kolom retrofit B.1-B.2.....	122



## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran I.	PEMERIKSAAN DAN ANALISIS BAHAN CAMPURAN	
BETON	.....	127
Lampiran II.	PERHITUNGAN CAMPURAN DAN PENENTUAN KEBUTUHAN	
BAHAN	.....	139
Lampiran III.	DATA HASIL UJI TARIK TULANGAN .....	155
Lampiran IV.	DATA HASIL UJI TEKAN KOLOM ASLI DAN RETROFIT .....	169
Lampiran V.	DOKUMENTASI PENELITIAN .....	185



- Halaman ini sengaja dikosongkan -



## RINGKASAN

**Zulaika Nur Jannah**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Desember 2018, *Pengaruh Perkuatan Mortar Jacket dengan Variasi Jarak Senggang Bambu pada Kolom Beton Bertulang yang Mengalami Beban Puncak*, Dosen Pembimbing : Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D dan Christin Remayanti N, ST., MT.

Kolom merupakan elemen vertikal yang berfungsi meneruskan beban dari balok menuju podasi. Dibandingkan dengan balok, kerusakan pada kolom memiliki potensi lebih besar untuk menyebabkan keruntuhan pada struktur bangunan. Sehingga kerusakan pada kolom perlu diperhatikan dengan lebih mendetail. Kerusakan pada kolom bisa terjadi akibat gempa bumi, kesalahan perhitungan pada saat proses desain, beban yang berlebihan dari rencana (*overloading*) dan perubahan fungsi bangunan.

Pada penelitian ini kolom asli memiliki ukuran 12x12x30 cm dengan tulangan utama dan sengkang dari tulangan baja, sedangkan kolom retrofit memiliki ukuran 18x18x25 cm dengan tulangan utama bambu petung dan sengkang bambu apus. Terdapat 4 kode kolom yang digunakan yaitu kolom A1-A2 dan B1-B2. Kolom retrofit kode A.1 dibandingkan dengan A.2, dimana kolom retrofit A.1 dan A2 menggunakan tulangan utama yang sama yaitu bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10x10 mm. Namun jarak sengkang berbeda, kolom retrofit A.1 memiliki jarak sengkang 7 cm, sedangkan kolom retrofit A.2 memiliki jarak sengkang 11 cm. Untuk kolom retrofit dengan kode B.1 dibandingkan dengan kolom retrofit B.2, dimana kolom retrofit B.1 dan B2 menggunakan tulangan utama yang sama yaitu bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 10x5 mm. Namun jarak sengkang berbeda, kolom retrofit B.1 memiliki jarak sengkang 7 cm, sedangkan kolom retrofit B.2 memiliki jarak sengkang 11 cm. Sehingga hasil akhir dari penelitian ini adalah efektifitas pengekanan kolom retrofit. Pengujian kolom dilakukan dengan mesin uji tekan untuk memperoleh nilai gaya tekan dan *dial gauge* untuk memperoleh nilai defleksi.

Hasil penelitian antara variasi A.1 dan A.2 menunjukkan bahwa jenis kolom A.1 dengan variasi jarak sengkang 7 cm mengalami peningkatan nilai gaya tekan maksimum yang lebih tinggi sebesar 16,74 % jika dibandingkan dengan kolom A.2. Peningkatan kekakuan, dan modulus elastisitas A.1 juga lebih tinggi dibandingkan jenis kolom A.2 masing-masing 65,20 % dan 65,20 %. Untuk daktilitas, kolom A.1 memiliki peningkatan daktilitas yang lebih efektif dibandingkan dengan kolom A.2, dimana kolom A.1 mengalami peningkatan daktilitas sebesar 21,75 % sedangkan kolom A.2 mengalami peningkatan daktilitas sebesar 15,85 %. Sehingga dapat disimpulkan kolom A.1 lebih efektif dibandingkan dengan kolom A.2. Sedangkan penelitian antara kolom retrofit B.1 dan B.2, dapat disimpulkan kolom retrofit B.1 lebih efektif dibanding dengan kolom retrofit B.2. Karena kolom retrofit B.1 memiliki peningkatan gaya tekan maksimum yang lebih tinggi sebesar 12,74 % dari pada jenis kolom B.2. Untuk peningkatan kekakuan, dan modulus elastisitas, kolom B.1 juga memiliki peningkatan yang lebih tinggi dibandingkan jenis kolom B.2 masing-masing 30,69 % dan 30,69 %. Sedangkan untuk daktilitasnya kolom B.1 dan B.2 sama-sama tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kolom asli dan retrofitnya. Untuk kolom B.1 mengalami penurunan daktilitas 3,24 % dan B.2 mengalami kenaikan daktilitas sebesar 4,89 %. Berdasarkan hasil penelitian ini, kolom retrofit dengan variasi jarak sengkang 7 cm (kolom retrofit A.1 dan B.1) lebih efektif dibandingkan dengan jarak sengkang 11 cm (kolom retrofit A.2 dan B.2). Hal ini dikarenakan semakin rapat jarak sengkang yang dipasang maka efek kekangan dari sengkang tersebut akan semakin besar pula, sehingga menyebabkan peningkatan gaya tekan dan daktilitas.

Kata Kunci : Jacket beton, jacket mortar, efektivitas, gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, daktilitas.

- Halaman ini sengaja dikosongkan -





## SUMMARY

**Zulaika Nur Jannah**, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, December 2018, *The Effect of Bamboo Strirrups Spacing of Mortar Jacket Retrofit on RC Columns Subjected to Peak Load*. Academic Supervisor : Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D dan Christin Remayanti N, ST., MT.

Column is a vertical element that function to transmit load from beam to foundation. Compare with beam, damage in column has greater potential to cause collapse of the building structure. Therefore, column need to be more concerned when it's being damagead. The damage of column caused by earthquake, errors when doing calculate and design of the structure, overloading, and changes in building function. Nowadays, the develop of the construction technology in Indonesia is getting advanced, its makes an innovation to repair damage of the column with retrofitted, and mortar jacketing is the one of method.

In this research, the main column size is 12x12x30 cm with the main reinforced bar and stirrups are from steel materials. The retrofitted column has size 18x18x25 cm with the main reinforced from petung bamboo and the stirrups from apus bamboo. There are 4 columns code, that are A.1 – A.2 and B.1 – B.2. The retrofitted column code A.1 is compared with A.2, where retrofitted column A.1 and A.2 use the same main reinforced bar, that is 4 bamboo bar with size 10 x 10 mm. However, the stirrups space is different, the space of each stirrups retrofitted column A.1 is 7 cm while A.2 is 11 cm. For the retrofitted column code B.1 is compared with B.2, where retrofitted column B.1 and B.2 use the same main reinforced bar, that is 8 bamboo bar with size 10 x 5 mm. However, the space of each stirrups is different, the space of each stirrups retrofitted column B.1 is 7 cm while B.2 is 11 cm. The result of this research is the effectivity of stirrups confinement of retrofitted column. The column will be tested with compression test machine to gain compressive force and dial gauge that needed to get deflection value.

The result of this research between A.1 and A.2 has showed that A.1 with the variation space of each stirrups is 7 cm has the increase in maximum compression force that higher 16,74% if it compared to A.2. The increase in stiffness and modulus of elasticity A.1 is also higher compared to A.2 it shows 65,20% and 65,20%. For ductility, column A.1 has more effective ductility if its compared to A.2, where column A.1 has ductility increase 21,71% while A.2 has increase 15,85%. So it can be concluded that retrofitted column A.1 is more effective than retrofitted column A.2. while the research between B.1 and B.2, can be concluded that retrofitted column B.1 is more effective than retrofitted column B.2 because the retrofitted column B.1 has the increase in maximum compression force that higher 12,74% if it compared to B.2. The increase in stiffness and modulus of elasticity B.1 is also higher compared to B.2 it shows 30,69% and 30,69%. While the ductility of column B.1 and B2 did not show a significant value between the initial column and the retrofitted column. For column B.1 the ductility decrease 3,24% and B.2 increase 4,89%. Based on this research, the retrofitted column with stirrups space 7 cm (retrofitted column A.1 and B.1) is more effective than retrofitted column with stirrups space 11 cm (retrofitted column A.2 and B.2). This is because more tight the stirrups space make the bigger confinement effect, that make increase in maximum compression force and ductility.

**Keywords :** concrete jacket, mortar jacket, effectivity, compression force, stiffness, modulus of elasticity, ductility.



- Halaman ini sengaja dikosongkan -



## DAFTAR SIMBOL

Besaran Dasar	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Kuat Beban Aksial	Kilonewton atau kN	P
Luas Penampang Bruto	Milimeter kuadrat atau mm <sup>2</sup>	Ag
Luas Penampang tulangan	Milimeter kuadrat atau mm <sup>2</sup>	As
Kuat Tekan Beton	Megapascal atau MPa	f <sub>c</sub>
Tegangan Leleh	Megapascal atau MPa	f <sub>y</sub>
Luas Penampang Bambu	Milimeter kuadrat atau mm <sup>2</sup>	Abambu
Kuat Tekan Bambu	Megapascal atau MPa	ftk bambu
Modulus Elastisitas	Kilonewton per millimeter kuadrat atau kN/mm <sup>2</sup>	E
Kekakuan	Kilonewton per millimeter atau kN/mm	k
Tegangan	Kilonewton per millimeter kuadrat atau kN/mm <sup>2</sup>	σ
Luas Penampang	Milimeter kuadrat atau mm <sup>2</sup>	A
Perubahan Panjang	Milimeter atau mm	ΔL
Regangan	-	ε
Gaya Tekan	Kilonewton atau kN	P
Defleksi	Milimeter atau mm	Δ
Daktilitas	-	μΔ
Deformasi <i>Ultimate</i>	Milimeter atau mm	Δ <sub>u</sub>
Deformasi Leleh	Milimeter atau mm	Δ <sub>y</sub>

- Halaman ini sengaja dikosongkan -



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Suatu bangunan tersusun dari beberapa elemen struktur, salah satunya adalah kolom. Kolom merupakan elemen vertikal yang berfungsi meneruskan beban dari balok menuju pondasi. Karena itu, kolom merupakan bagian yang sangat penting dari struktur bangunan. Dibandingkan dengan balok, kerusakan pada kolom memiliki potensi lebih besar untuk menyebabkan keruntuhan pada struktur bangunan. Sehingga kerusakan pada kolom perlu diperhatikan dengan lebih mendetail. Kerusakan pada kolom bisa terjadi akibat gempa bumi, kesalahan perhitungan pada saat proses desain, beban yang berlebihan dari rencana (*overloading*) dan perubahan fungsi bangunan.

Dengan semakin berkembangnya teknologi dunia konstruksi di Indonesia, saat ini berkembang pula inovasi - inovasi dalam perkuatan ataupun perbaikan struktur konstruksi, terutama kolom. Salah satu inovasi untuk memperbaiki kerusakan kolom berupa retrofit. Untuk metode dari retrofit itu sendiri bisa dilakukan dengan penambahan pelat baja, melakukan eksternal pre-stressing, pemberian FRP (*Fiber Reinforced Polymer*), dan perbesaran dimensi konstruksi beton (*concrete jacketing*). Dari metode yang ada ini diharapkan agar perbaikan pada kerusakan kolom bisa diperbaiki, serta untuk meningkatkan kekuatan dari kolom tersebut.

Metode FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) memiliki kelebihan lebih mudah dan cepat untuk dilaksanakan namun membutuhkan teknisi khusus dan biaya yang tinggi. Sedangkan untuk metode *concrete jacket*, bisa dilaksanakan dengan biaya yang lebih murah serta familiar untuk para *engineer* sehingga tidak membutuhkan teknisi khusus. Oleh karena itu dalam penelitian ini, metode perbaikan kolom yang digunakan yaitu *concrete jacket* namun beton diganti dengan mortar. Hal ini dikarenakan penggunaan mortar bisa mengantisipasi adanya rongga saat pengecoran kolom retrofit serta dapat mengisi rongga pada kolom asli yang rusak. Metode *mortar jacket* ini sangat mudah dilaksanakan dan lebih efisien dari segi biaya maupun waktu. Karena dengan menggunakan metode ini tidak perlu dibuat kolom baru lagi, cukup dengan cara menyelimuti kolom yang sudah ada dengan mortar tambahan dan tulangan.

Pada elemen kolom yang terbuat dari beton bertulang, tulangan geser atau sengkang sangat berpengaruh pada kekuatan dari kolom. Hal ini dikarenakan sengkang berfungsi sebagai pengekang inti beton. Pemasangan sengkang berpengaruh pada efektivitas kekangan pada kolom, semakin rapat jarak sengkang yang dipasang maka efektivitas dari kekangan akan semakin bertambah sehingga kekuatan kolom akan meningkat.

Dalam penelitian kali ini, akan difokuskan terhadap pengaruh variasi jarak sengkang pada kolom yang diperkuat dengan metode *mortar jacket* dengan menggunakan tulangan bambu agar berpacu pada konsep *green construction*. Dimana akan digunakan bambu petung sebagai tulangan utama, dan bambu apus sebagai sengkang atau tulangan geser.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah pada penelitian ini antara lain untuk mengetahui hubungan tegangan regangan pada kolom pendek, gaya tekan aksial maksimum, dan daktilitas dari kolom retrofit dengan metode *mortar jacketing*. Variasi yang digunakan untuk mengetahui beberapa hal tersebut adalah perbedaan jarak sengkang bambu pada kolom retrofit.

## 1.3 Rumusan Masalah

Dari penjelasan di atas rumusan masalah dari penelitian kali ini, antara lain :

1. Bagaimana pengaruh variasi jarak sengkang bambu pada kolom retrofit terhadap gaya tekan maksimum?
2. Bagaimana pengaruh variasi jarak sengkang bambu pada kolom retrofit terhadap hasil modulus elastisitas, kekakuan, dan daktilitas?
3. Bagaimana variasi jarak sengkang yang paling efektif untuk digunakan pada kolom retrofit?

## 1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam penelitian ini nantinya tidak terlalu melebar dalam pelaksanaannya, maka dibuat beberapa batasan masalah dari penelitian ini. Antara lain :

1. Mutu beton dari kolom asli dibuat sama dengan kolom retrofit yaitu sebesar 17,5 MPa.
2. Kolom utama mempunyai dimensi penampang 12 X 12 cm dengan tinggi 30 cm
3. Kolom retrofit mempunyai dimensi penampang 18 X 18 dengan tinggi 25 cm.

4. Tulangan utama dan sengkang yang digunakan pada kolom utama adalah tulangan baja.
5. Tulangan utama dan sengkang yang digunakan pada kolom retrofit adalah tulangan bambu.
6. Jenis bambu yang digunakan sebagai tulangan utama pada kolom retrofit adalah bambu petung.
7. Jenis bambu yang digunakan sebagai sengkang pada kolom retrofit adalah bambu apus.
8. Pada kolom utama digunakan tulangan baja D10 berjumlah 4 buah, dan sengkang Ø6 berjumlah 3 buah dengan jarak masing-masing 15 cm antar sengkang.
9. Variasi tulangan utama pada kolom retrofit terdapat dua jenis, yaitu tulangan bambu berjumlah 4 buah dengan ukuran penampang 1 X 1 cm, dan tulangan bambu berjumlah 8 buah dengan ukuran penampang 1 X 0.5 cm. Dimana keduanya memiliki rasio tulangan yang sama yaitu 1,23.
10. Variasi sengkang pada kolom retrofit terdapat dua jenis, yaitu tulangan bambu dengan jarak antar sengkang 7 cm dan 11 cm.
11. Ukuran penampang tulangan geser pada kolom retrofit yang digunakan adalah 1 X 1 cm.
12. Variasi yang akan dibandingkan pada penelitian ini adalah jarak sengkang.
13. Karakteristik pengujian kolom retrofit pada penelitian ini adalah uji kuat tekan kolom.

## 1.5 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk menganalisis pengaruh variasi jarak sengkang bambu pada kolom retrofit terhadap gaya tekan maksimum.
2. Untuk menganalisis pengaruh variasi jarak sengkang bambu pada kolom retrofit terhadap hasil modulus elastisitas, kekakuan, dan daktilitas.
3. Untuk menganalisis variasi jarak sengkang yang paling efektif untuk digunakan pada kolom retrofit.

## 1.6 Manfaat

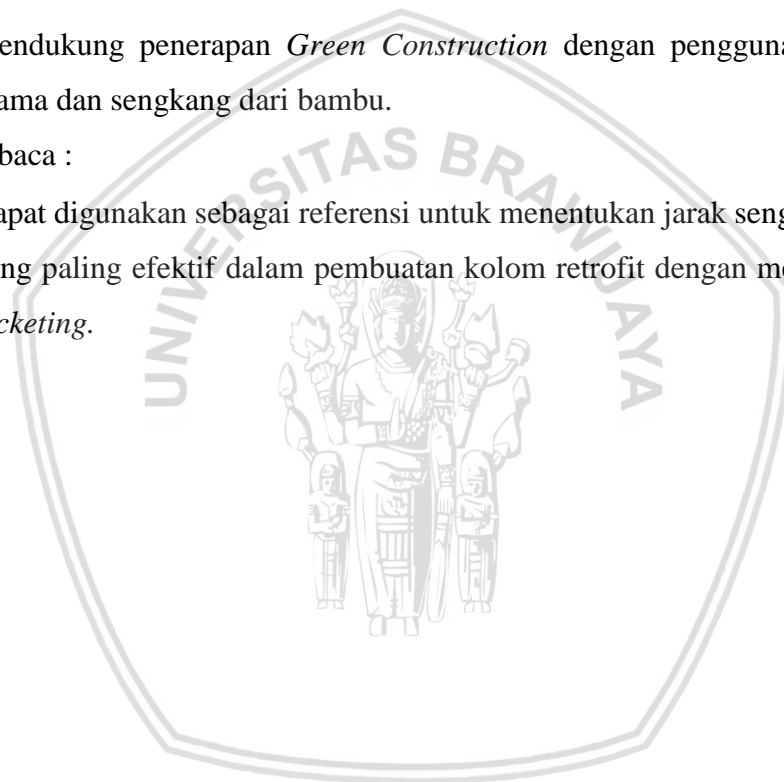
Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

### 1. Bagi penulis :

- Mengetahui pengaruh variasi jarak sengkang bambu pada kolom retrofit terhadap gaya tekan maksimum.
- Mengetahui pengaruh variasi jarak sengkang bambu pada kolom retrofit terhadap hasil modulus elastisitas, kekakuan, dan daktilitas.
- Mengetahui variasi jarak sengkang yang paling efektif untuk digunakan pada kolom retrofit.
- Mendukung penerapan *Green Construction* dengan penggunaan tulangan utama dan sengkang dari bambu.

### 2. Bagi pembaca :

- Dapat digunakan sebagai referensi untuk menentukan jarak sengkang bambu yang paling efektif dalam pembuatan kolom retrofit dengan metode *mortar jacketing*.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dilakukan tidak lepas dari hasil penelitian terdahulu. Penelitian terdahulu ini menjadi salah satu acuan penulis dalam melakukan penelitian, sehingga penulis dapat mengetahui kekurangan penelitian sebelumnya. Penulis mengangkat beberapa judul penelitian yang tidak lepas dari topik penelitian sebagai referensi untuk memperkaya bahan kajian pada penelitian penulis. Berikut merupakan uraian singkat beberapa penelitian terdahulu.

Tabel 2.1

Penelitian Terdahulu

Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
Rizky Adhi Perdana Saputra, 2017	Pengaruh Jarak Sengkang Dari Metode Jaket Beton Bertulang Bambu Pada Kolom Beton Bertulang Ringan	Dari hasil penelitian didapatkan untuk kolom retrofit B.1 (jarak sengkang 9.3 cm) lebih efektif dibandingkan dengan kolom retrofit B.2 (jarak sengkang 14 cm).
Perbedaan : penelitian yang dilakukan Rizky Adhi Perdana Saputra membandingkan variasi jarak sengkang dan variasi ukuran tulangan bambu, sedangkan penulis membandingkan variasi jarak sengkang bambu. Selanjutnya, penelitian Rizky Adhi menggunakan beton sebagai selimut dalam upaya perbaikan/perkuatan kolom, sedangkan penulis menggunakan mortar sebagai selimut dalam penelitian ini. Selain itu, pada penelitian Rizky Adhi Perdana perkuatan kolom dilakukan untuk keseluruhan tinggi kolom, sedangkan penulis hanya pada bagian kerusakan beton.		

Sumber : hasil kajian penulis, 2018



Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
Nur Rachman, 2018	Pengaruh Kekangan Jarak Senggang Pada Perilaku Aksial Kolom Beton Bertulang yang Diperkuat Menggunakan Metode Jacket Beton Bertulang Bambu	Dari hasil penelitian didapatkan bahwa kolom retrofit C.1 (jarak senggang 5 cm) lebih efektif dibandingkan dengan kolom retrofit C.2 (jarak senggang 7.5 cm). Sedangkan kolom retrofit D.1 (jarak senggang 5 cm) lebih efektif dibandingkan dengan kolom retrofit D.2 (jarak senggang 7.5 cm).
Perbedaan : penelitian yang dilakukan Nur Rachman menggunakan beton sebagai selimut dalam upaya perbaikan/perkuatan kolom, sedangkan penulis menggunakan mortar sebagai selimut dalam penelitian ini. Selain itu, pada penelitian Nur Rachman perkuatan kolom dilakukan untuk keseluruhan tinggi kolom, sedangkan penulis hanya pada bagian kerusakan beton.		

Sumber : hasil kajian penulis, 2018

## 2.2 Beton Bertulang

Beton merupakan campuran antara semen portland atau semen hidrolis yang dicampur dengan agregat halus, agregat kasar, dan air. Beton dapat memakai bahan campuran tambahan (*admixture*). Pada beton biasanya terdapat tulangan yang berfungsi sebagai penahan gaya tarik yang bekerja pada beton. Beton yang kuat terhadap gaya tekan dan lemah terhadap tarik, maka diperlukan tulangan untuk menahan gaya tarik yang disebabkan beban - beban yang bekerja. (Nawy, Edward G, 2008).

Beton bertulang adalah beton yang menggunakan tulangan dengan jumlah dan luas tulangan tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan, dengan atau tanpa pratekan dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama – sama dalam menahan gaya yang bekerja (Mulyono, 2004). Standar peraturan perencanaan bangunan beton bertulang di Indonesia mengacu pada SNI 2847:2013.

Beton bertulang merupakan bahan konstruksi yang paling penting dan paling banyak digunakan. Beton bertulang digunakan pada semua jenis struktur besar maupun struktur kecil seperti bangunan, jembatan, perkerasan jalan, bendungan, dinding penahan tanah, terowongan, jembatan yang melintasi lembah (*viaduct*), drainase serta fasilitas irigasi, tangki, dan sebagainya (McCormac, Jack, 2004).

### 2.2.1 Kelebihan dan Kekurangan Beton Bertulang

Terdapat beberapa kelebihan pada beton bertulang antara lain :

- a) Beton bertulang memiliki kuat tekan yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan material lain.
- b) Beton bertulang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap cuaca ekstrim.
- c) Beton bertulang memiliki struktur yang sangat kokoh.
- d) Beton bertulang tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang tinggi.
- e) Dibandingkan dengan bahan lain, beton bertulang memiliki usia layan yang panjang.
- f) Salah satu ciri khas beton bertulang adalah kemampuan untuk dicetak menjadi bentuk yang beragam, mulai dari pelat, balok, dan kolom yang sederhana sampai atap kubah dan cangkang besar.
- g) Di sebagian besar daerah, beton terbuat dari bahan-bahan lokal yang murah (pasir, kerikil, dan air) dan relatif hanya membutuhkan sedikit semen dan tulangan baja.
- h) Keahlian buruh yang dibutuhkan untuk membangun konstruksi beton bertulang lebih rendah bila dibandingkan dengan bahan lain seperti struktur baja.

Selain mempunyai kelebihan, beton bertulang juga mempunyai kekurangan yang perlu kita ketahui. Beberapa kekurangan atau kelemahan beton bertulang diantaranya adalah:

- a) Beton mempunyai kuat tarik yang sangat rendah (sekitar 10% dari kekuatan tekan), sehingga memerlukan penggunaan tulangan tarik.
- b) Beton bertulang memerlukan bekisting untuk menahan beton sampai beton tersebut mengeras. Biaya pembuatan bekisting sangat mahal.
- c) Rendahnya kekuatan per satuan berat dari beton mengakibatkan beton bertulang menjadi berat. Kekuatan beton berkisar antara 5% hingga 10% kekuatan baja meskipun berat jenisnya kira-kira 30% dari berat baja. Ini akan sangat berpengaruh pada struktur-struktur bentang panjang dimana berat beban mati beton yang besar akan sangat mempengaruhi momen lentur.

- d) Sifat beton sangat bervariasi, hal ini disebabkan karena bervariasinya proporsi campuran dan pengadukannya. Selain itu, penuangan dan perawatan beton tidak bisa ditangani setelah seperti yang dilakukan pada proses produksi material lain seperti struktur baja dan kayu.

### 2.2.2 Tegangan dan Regangan pada Beton Bertulang

Tegangan adalah besaran pengukuran intensitas gaya ( $F$ ) atau reaksi dalam yang timbul per satuan luas ( $A$ ). Rumus untuk menghitung tegangan pada beton bertulang yakni:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2-1)$$

Dimana :

$P$  = gaya tekan (kN)

$A$  = luas tampang melintang ( $\text{mm}^2$ )

Deformasi atau regangan yaitu perubahan ukuran dari panjang awal yang dihasilkan dari gaya tarik maupun gaya tekan yang dikenakan pada suatu bahan. Rumus untuk menghitung regangan pada beton bertulang yakni :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(2-2)$$

Dimana  $\Delta L = l - l_0$

Dimana :

$\Delta L$  = perubahan panjang akibat beban  $P$  (mm)

$L$  = panjang semula (mm)

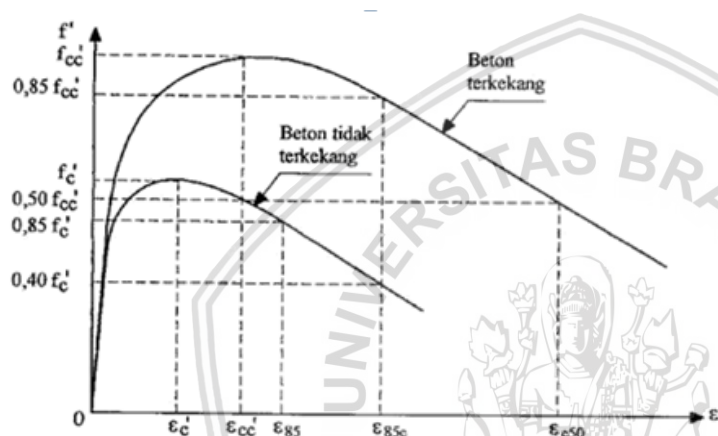
### 2.2.3 Perilaku Tegangan – Regangan Beton Terkekang

Perilaku sengkang pada kolom akan mempengaruhi hubungan tegangan – regangan beton, dimana bentuk hubungan tersebut dipengaruhi oleh beberapa variabel, terutama kuat tekan beton, rasio sengkang terhadap volume inti beton (*concrete core*), tegangan leleh sengkang, dan jarak sengkang. [Scott dkk. (1982), Dilger dkk. (1988), Azizinamini dkk. (1994)], Saatcioglu & Baingo (1999)]

Tulangan utama dan sengkang yang dipasang pada kolom dapat berfungsi sebagai kekangan untuk memperlambat pengembangan transversal beton. Pemasangan sengkang pada beton terutama pada struktur kolom dapat meningkatkan kekuatan dan daktilitas, apabila dibandingkan dengan beton tanpa sengkang. Sengkang sangat berperan dalam

mengekan pengembangan lateral yang terjadi akibat beban tekan aksial, mencegah terjadi buckling pada tulangan utama, dan mencegah keruntuhan geser pada kolom. Semakin tinggi beban aksial yang bekerja terhadap kolom, semakin banyak pula sengkang yang diperlukan agar struktur lebih kuat dan daktil.

Gambar 2.1 memperlihatkan bahwa pada tegangan awal, modulus elastisitas beton terkekang dengan beton tidak terkekang hampir sama. Berarti pada tegangan awal tersebut, sengkang belum aktif memberikan tahanan lateral. Deformasi lateral yang disebabkan oleh beban aksial yang bekerja pada beton, mendapatkan tahanan dari ikatan antara partikel beton.



Gambar 2.1. Hubungan tegangan-regangan beton terkekang dan beton tidak terkekang

Sumber : Razvi & Saatcioglu (1992)

Pada tegangan sekitar  $0,4 f'_c$ , perilaku kurva tegangan – regangan beton mulai non – linier. Tingkat tegangan ini ditandai dengan mulai runtuhnya selimut beton dan mempunyai perilaku tegangan – regangan yang berbeda dengan inti beton. Deformasi lateral beton menimbulkan reaksi dari kekangan berupa tahanan lateral. Hal ini dapat meningkatkan kekuatan dan daktilitas beton terkekang dibanding dengan beton tidak terkekang.

Pada grafik beton terkekang juga terlihat bahwa setelah puncak terjadi penurunan tegangan yang lebih landai, artinya mempunyai daktilitas yang lebih besar dibanding dengan beton tidak terkekang. Pola seperti ini disebabkan karena daya dukung inti beton sebagian besar berasal dari tahanan sengkang, sehingga penurunan tegangan beton mempunyai pola tegangan – regangan sengkang yang daktil.

Tegangan puncak dari beton terkekang terlihat terjadi pada regangan yang lebih besar dibandingkan dengan beton tidak terkekang. Setelah tegangan pada regangan puncak, pada beton tidak terkekang mulai terjadi penurunan tegangan.

Sebaliknya pada regangan yang sama pada beton terkekang, dengan bertambahnya deformasi aksial terjadi peningkatan kekuatan, yang tergantung dari besarnya tegangan lateral, sampai mencapai tegangan puncak. Kekangan pada beton juga meningkatkan sisa kekuatan setelah runtuh (*residu strength*).

## **2.3 Mortar**

Mortar adalah bahan yang digunakan untuk konstruksi bangunan yang terdiri dari campuran antara semen dan agregat halus. Campuran antara semen dan agregat ini menggunakan perbandingan tertentu sehingga daya tahan mortar terhadap tekanan maupun tarikan akan semakin tinggi atau maksimal.

### **2.3.1 Kelebihan Mortar**

Penggunaan mortar memiliki beberapa kelebihan, diantaranya:

1. Konsistensi Karena diproduksi masal dan juga dengan alat modern dan oleh pabrikan, maka konsistensi bahan bakunya cukup seragam. Kita tidak perlu pusing lagi akan stabilitasnya.
2. Lebih mudah dalam pembuatannya karena jenis material yang dibutuhkan lebih sedikit.
3. Adanya additif yang sesuai akan memberikan sifat bahan yang lebih baik dibanding hanya dengan menggunakan campuran semen biasa.

### **2.3.1 Kekurangan Mortar**

Selain memiliki beberapa kelebihan, mortar juga memiliki kekurangan yakni dari segi biaya. Hal ini dikarenakan pembuatan mortar lebih banyak membutuhkan semen dari pada beton biasa.

## **2.4 Tulangan utama**

Fungsi tulangan utama baja pada struktur beton bertulang yaitu untuk menahan gaya tarik. Oleh karena itu pada struktur balok, kolom, pelat, fondasi, ataupun struktur lainnya dari bahan beton bertulang, selalu diupayakan agar tulangan utama (memanjang) dipasang pada serat-serat beton yang mengalami tegangan tarik. Keadaan ini terjadi terutama pada daerah yang menahan momen lentur besar (umumnya di daerah lapangan/tengah bentang,

atau di atas tumpuan), sehingga sering mengakibatkan terjadinya retakan beton akibat tegangan lentur tersebut. Tulangan utama ini dipasang searah sumbu batang.

Terdapat beberapa macam material yang biasanya dipakai pada tulangan utama, contohnya seperti baja dan bambu. Namun, baja merupakan material yang saat ini cepat habis dan tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu banyak sekali penelitian yang membuktikan bahwa tulangan bambu dapat menggantikan baja. Perbedaan mengenai perbedaan tulangan bambu dan baja adalah :

- Tulangan baja

Penggunaan baja sebagai tulangan merupakan hal yang sering dilakukan oleh banyak orang. Hal ini dikarenakan tulangan baja mudah di produksi dalam jumlah banyak, tidak mudah terbakar, tidak menyerap air, dan banyak lagi kelebihan lainnya. Tulangan baja yang tersedia di pasaran dibagi menjadi 2 jenis, yaitu:

1. Baja Tulangan Polos (BJTP)

Tulangan Polos biasanya digunakan untuk tulangan geser/sengkan, dan mempunyai tegangan leleh ( $f_y$ ) minimal sebesar 240 Mpa dengan ukuran  $\varnothing 6$ ,  $\varnothing 8$ ,  $\varnothing 10$ ,  $\varnothing 12$ , dan  $\varnothing 16$ .

2. Baja Tulangan Ulir atau Deform (BJTD)

Tulangan Ulir/deform digunakan untuk tulangan utama atau tulangan memanjang, dan mempunyai tegangan leleh ( $f_y$ ) minimal 320 MPa. Ukuran diameter nominal tulangan ulir yang umumnya tersedia di pasaran adalah D10, D13, D16, D19, D22, D25, D29, D32, dan D36.

- Tulangan bambu

Bambu mempunyai kuat tarik yang cukup tinggi, yakni kuat tarik antara 100-400 Mpa, hampir menyamai kekuatan tarik besi tulangan setara dengan  $\frac{1}{2}$  sampai  $\frac{1}{4}$  dari tegangan ultimit besi (Widjaja, 2001). Kuat tarik bambu dapat mencapai 1280 kg/cm<sup>2</sup> (Morisco, 1996). Kekuatan tarik bambu sejajar serat antara 100-400 Mpa beberapa jenis bambu melampaui kuat tarik baja mutu sedang (Morisco, 1999).

Bambu mempunyai serat yang sejajar, sehingga kekuatan terhadap gaya normal cukup baik, bambu berbentuk pipa sehingga momen lembamnya cukup tinggi oleh karena itu bambu cukup baik untuk memikul momen lentur dan berat bambu sekitar  $\frac{1}{9}$  dari berat besi.



Selain itu bambu memiliki beberapa kelebihan sebagai tulangan pada beton, yaitu:

- Tulangan bambu lebih ekonomis dibandingkan dengan tulangan baja
- Bambu dapat diperoleh dengan mudah
- Pertumbuhannya bambu cepat
- Material bambu merupakan jenis material konstruksi yang ringan
- Material bambu dapat diperbaharui dan memiliki kuat tarik yang tinggi

## 2.5 Sengkang

Sewaktu beban vertikal dan momen lentur pada kolom ditahan oleh tulangan utama, gaya gempa lateral ditahan oleh sengkang yang dipasang secara rapat. Sengkang sebaiknya didesain untuk menahan pengembangan retak geser diagonal. Lebih lanjut, tulangan utama diikat bersama sengkang dan mencegahnya dari tekuk yang berlebihan, dan mengekang beton di dalam kolom. Tulangan sengkang membantu mencegah hancurnya beton pada penampang inti kolom sehingga kolom dapat menahan beban vertikal yang lebih besar.

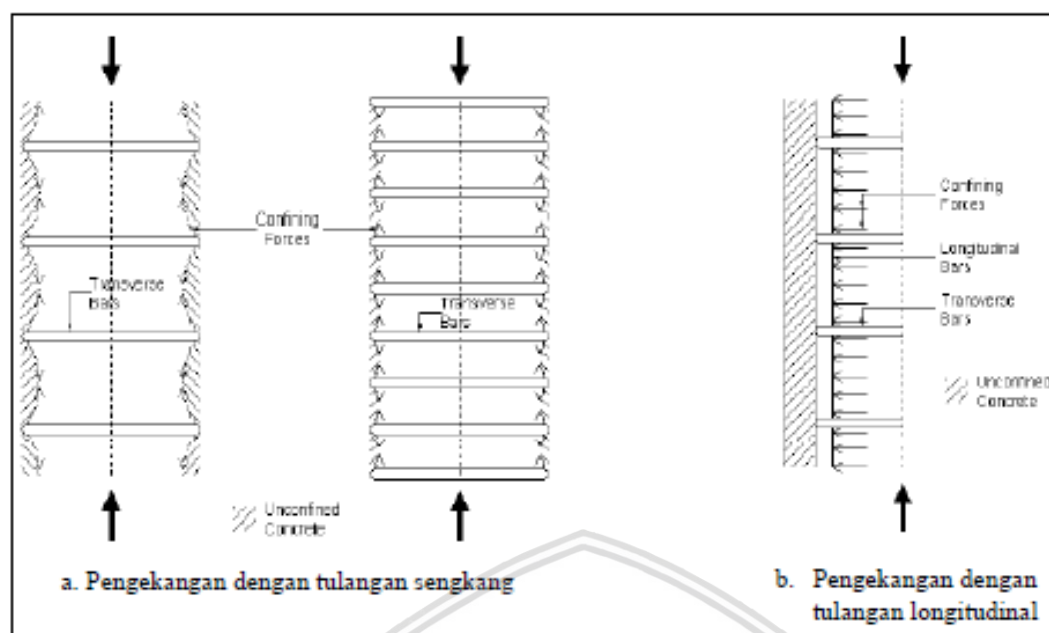
Terdapat beberapa fungsi pada sengkang :

1. Sengkang sebagai penahan gaya geser
2. Sengkang sebagai pengekang (*confinement*)
3. Sengkang sebagai penahan tekuk (*buckling*)
4. Sengkang sebagai pengikat tulangan pokok

### 2.5.1 Pengaruh Sengkang

Sengkang pada kolom berpengaruh pada kekuatan penampangannya sehingga akan berkurang bersamaan dengan timbulnya masalah tekuk (*buckling*) yang dihadapi. Pada kolom, eksentrisitas dapat terjadi akibat timbulnya momen yang antara lain disebabkan oleh kekangan pada ujung-ujung kolom yang dicetak secara monolit dengan komponen lain, pelaksanaan pemasangan yang kurang sempurna, ataupun penggunaan mutu bahan yang tidak merata. Semakin pendek jarak sengkang pada kolom semakin besar kekuatan kolom tersebut.

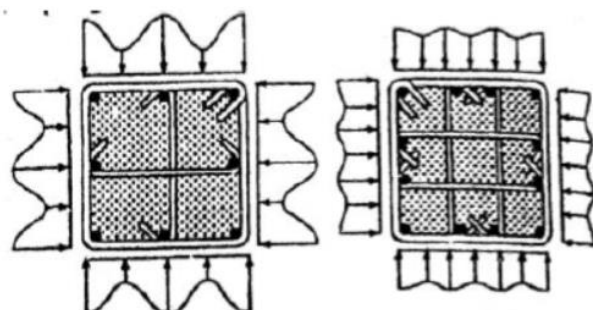




Gambar 2.2. Pengekangan dengan tulangan sengkang dan tulangan utama

Ada banyak variabel yang mempengaruhi kapasitas aksial dan bentuk kurva tegangan-regangan suatu kolom beton bertulang. Beberapa variabel yang dominan tersebut antara lain:

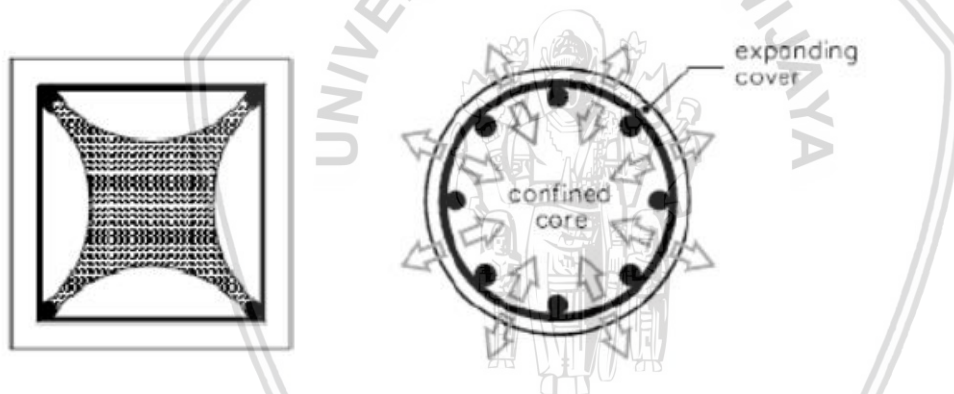
- a. Rasio volumetrik sengkang dan beton merupakan perbandingan antara volume sengkang dengan volume inti beton yang terkekang dihitung dari as ke as sengkang. Semakin kecil rasio volumetrik maka efek pengekangan akan semakin besar. Untuk memperoleh rasio volumetrik yang semakin kecil dapat dilakukan dengan tiga cara.
  1. Memperbanyak volume sengkang maka dapat menambah nilai tegangan pengekang dalam arah transversal.



Gambar 2.3. Variasi tegangan pengekang akibat jumlah dan susunan tulangan (longitudinal dan transversal)

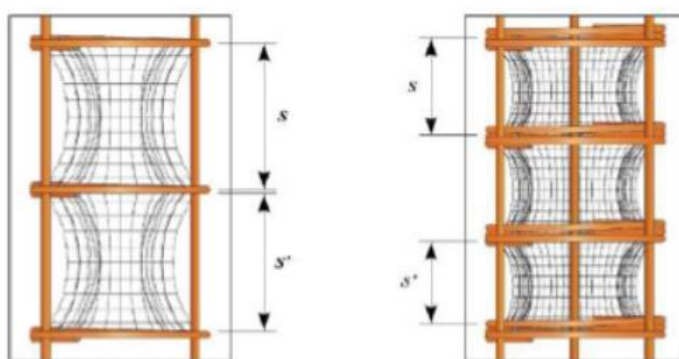
Sumber : Tavio (2011)

2. Memperbesar diameter tulangan, perbandingan antara diameter sengkang terhadap panjang sengkang, karena diameter yang lebih besar menghasilkan pengekanan yang lebih efektif. Dari Gambar 2.4 di bawah dapat dilihat bahwa daerah yang diarsir merupakan daerah yang tidak efektif terkekang. Bila diameter sengkang kecil, maka sengkang hanya akan berperilaku sebagai pengikat antar sudut dikarenakan kekakuan lenturnya kecil. Karena kekakuannya kecil, maka bagian tengahnya (daerah antara dua sudut) akan melendut sehingga keefektifan pengekan bagian tengah sengkang menjadi lebih kecil. Dengan diameter sengkang yang lebih besar, luas area yang terkekang efektif bisa bertambah karena kekakuan lenturnya besar. Dari Gambar 2.4 tersebut dapat dilihat keefektifan sengkang spiral dalam menahan inti beton lebih baik daripada sengkang persegi, karena pada pengekanan spiral hampir seluruh daerah inti beton (yang berada di dalam sengkang) terkekang dengan baik.



Gambar 2.4. Efektifitas pengekanan. (a) sengkang persegi; (b) spiral

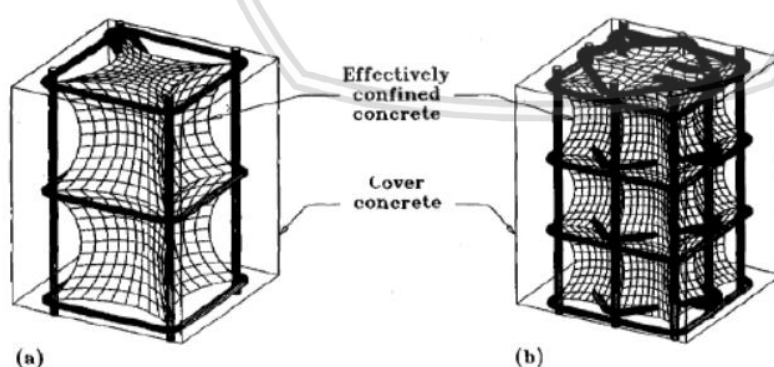
3. Memperkecil jarak sengkang, perbandingan jarak/spasi antar sengkang terhadap dimensi penampang inti, karena semakin rapat sengkang akan menambah keefektifan pengekanan, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.5 dibawah. Semakin renggang jarak sengkang maka akan semakin banyak volume beton yang tidak terkekang dan mungkin akan rontok (*spalling*).



Gambar 2.5. Jarak antar sengkang mempengaruhi efektifitas pengekanan

Sumber : Cusson dan Paultre (1995)

- b. Kuat leleh baja tulangan sengkang ( $f_{yh}$ ), karena variabel ini menentukan kuat batas ultimate dari tegangan pengekan lateral.
- c. Jumlah dan ukuran tulangan utama, karena tulangan ini juga mengekan betonnya. Tulangan utama harus ditempatkan agak rapat disepanjang sengkang karena sengkanglah yang memberikan reaksi pengekanan pada tulangan utama (tulangan lentur) dengan sengkang akan meningkatkan efisiensi pengekanan.
- d. Kuat tekan beton (mutu beton), karena beton dengan kuat tekan rendah (*low strength concrete*) agak lebih daktail daripada beton mutu tinggi (*high strength concrete*).



Gambar 2.6. Efek konfigurasi dan jarak sengkang : (a) Konfigurasi sengkang yang kurang baik dengan jarak yang lebar ; (b) konfigurasi yang baik dengan jarak yang rapat

Sumber : Cusson (1995)

## 2.6 Bambu

Bambu merupakan jenis tanaman yang mudah ditanam dan dapat tumbuh secara alami. Terdapat ratusan macam jenis bambu, tetapi dari ratusan jenis itu, hanya ada empat macam saja yang dianggap penting sebagai jenis bambu yang dapat dimanfaatkan dan umum dipasarkan di Indonesia, yakni bambu jenis petung, bambu jenis wulung, bambu jenis tali dan bambu jenis duri (Frick, 2004).

Bambu dipilih sebagai tulangan alternatif sebagai pengganti tulangan baja karena merupakan produk hasil alam yang renewable, murah, mudah ditanam, pertumbuhan cepat, dapat mereduksi efek *global warming* serta memiliki kuat tarik sangat tinggi yang dapat dipersaingan dengan baja (Setiya Budi, 2010).

### 2.6.1 Bambu Petung

Bambu petung (*Dendrocalamus sp*) berbagai daerah di Indonesia dikenal dengan nama tiying petung, buluh petung, pring petung, awi petung, buluh swanggi, jajang petung, au petung, bulo lotung dan lainnya (Morisco, 1999:2-4). Bambu petung dapat tumbuh di dataran rendah sampai pegunungan dengan ketinggian 2000 m diatas permukaan laut. Pertumbuhannya cukup baik khususnya daerah yang tidak terlalu kering. Warna kulit batang umumnya warna hijau kekuning kuningan. Panjang batang dapat mencapai antara 10 sampai 14 meter, panjang ruas berkisar antara 40 sampai 60 centimeter dengan diameter antara 6 sampai 15 centimeter dan tebal dindingnya antara 10 sampai 20 milimeter.

### 2.6.2 Bambu Apus

Bambu apus termasuk dalam genus *Gigantochloa* yang memiliki rumpun yang rapat. Bambu apus dikenal juga sebagai bambu tali, awi tali, atau pring tali. Bambu apus/tali kuat terhadap tarik, terutama kulit bambu yang merupakan pelindung dan bagian terkuat dari bambu. Selain itu, bambu ini juga mudah dilenturkan dibanding bambu jenis lain, tahan lama sekalipun tanpa pengawetan, dan mudah didapatkan.

### 2.6.3 Kuat Tarik Bambu

Bambu memiliki banyak kelebihan, dimana salah satunya memiliki kuat tarik yang tinggi yang dapat dipersaingan dengan kuat tarik baja. Menurut Jansen (1980) faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan bambu adalah sebagai berikut :

1. Kandungan air, semakin sedikit kandungan air yang terdapat pada bambu maka kuat tarik bambu semakin kuat.

2. Ada tidaknya nodia pada bambu. Pada batang bambu yang bernodia atau beruas maka bambu itu mempunyai kekuatan yang lebih rendah dibanding dengan bambu yang tidak terdapat nodia atau ruas.

Kuat tarik sejajar serat bambu hasil penelitian yang dilakukan oleh Morisco (1999) menunjukkan nilai yang cukup tinggi yaitu berkisar antara 2000 – 3000 kg/cm<sup>2</sup>. Sementara itu kuat batas dan tegangan ijin bambu sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2.

Rentang frekuensi gelombang mekanik longitudinal

Macam Tegangan	Kuat Batas (kg/cm <sup>2</sup> )	Tegangan Ijin (kg/cm <sup>2</sup> )
Tarik	981 - 3920	294,2
Lentur	686 - 2940	98,07
Tekan	245 - 981	78,45
E Tarik	98070 - 294200	196,1 x 10 <sup>3</sup>

Sumber: Morisco (1999)

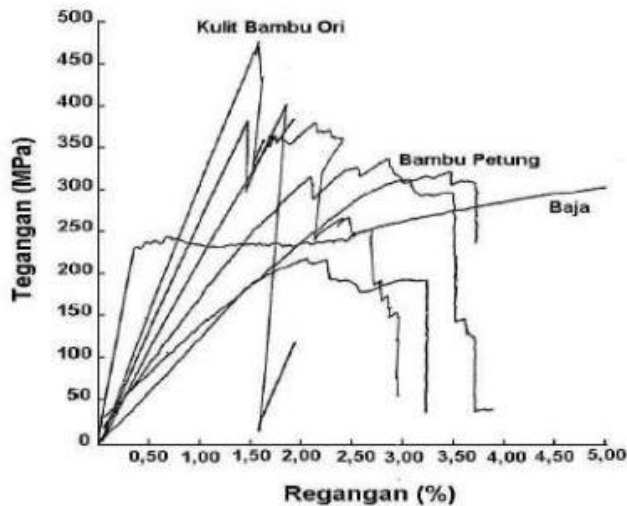
Morisco (1999) juga telah melakukan pengujian kuat tarik dengan empat jenis yaitu bambu ori (*bambusa bambos becke*), bambu Petung (*dendracalamus asper schult*), bambu wulung (*gigantochloa vercillata munro*) dan bambu tutul (*bambusa vulgaris schrad*), dimana di dalam pengujian ini bambu yang digunakan adalah bambu dengan nodia dan juga tanpa nodia. Hasil yang didapatkan dari pengujian tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3.

Tegangan tarik bambu kering oven tanpa nodia dan dengan nodia

Jenis Bambu	Tegangan Tarik (Mpa)	
	Tanpa Nodia	Dengan Nodia
Ori	291	128
Petung	190	116
Wulung	166	147
Tutul	216	74
Apus	151	55





Gambar 2.7. Hubungan tegangan-regangan bambu dan baja

Sumber : Morisco (1999)

Dari Gambar 2.7 tegangan-regangan bambu dan baja, dapat dilihat bahwa bambu ori memiliki kekuatan yang cukup tinggi yaitu hampir dua kali tegangan leleh baja. Selain bambu ori, kuat tarik rata-rata dari bambu petung juga lebih besar dari tegangan leleh baja.

#### 2.6.4 Kuat Tekan Bambu

Kekuatan tekan merupakan kekuatan bambu untuk menahan gaya dari luar yang datang pada arah sejajar serat yang cenderung memperpendek atau menekan bagian-bagian bambu secara bersama-sama (Pathurahman, 1998) .

Berdasarkan penelitian Sidik Mustafa (2010) diketahui kuat tekan bambu petung seperti pada Tabel 2.4 berikut ini :

Tabel 2.4.

Kuat tekan bambu petung

Sifat Mekanika	Umur	Rata-rata (Mpa)
Kuat Tekan	Muda	37,52
	Dewasa	46,59
	Tua	43,13

Sumber : Sidik Mustafa (2010)

#### 2.6.5 Perlakuan Bambu sebagai Tulangan

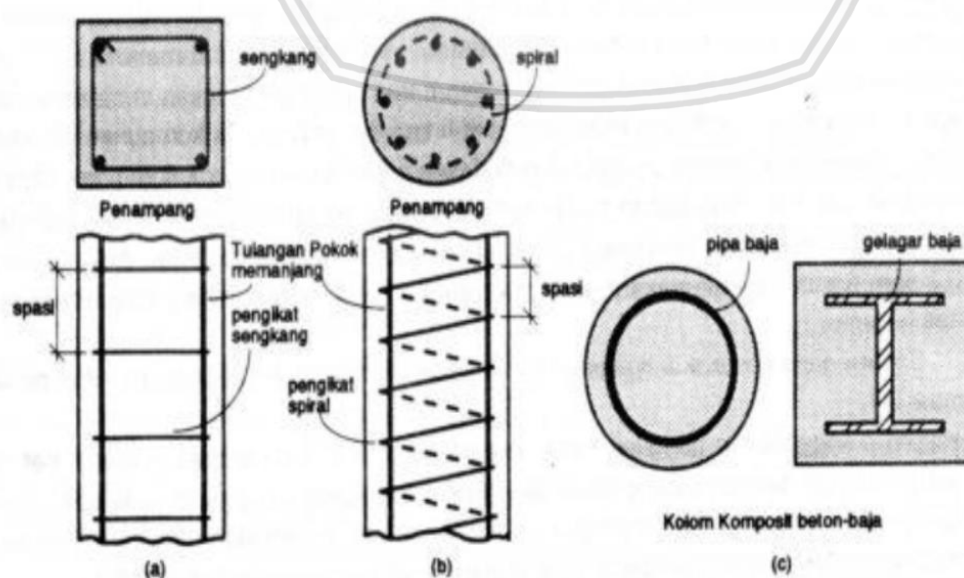
Penelitian terkait bambu sebagai pengganti tulangan baja pada beton bertulang telah dilakukan sejak tahun 1979 di Brazil dan Puerto Rico. Bambu akan mengembang ketika pori

bambu menyerap air dan saat beton telah mengeras dan menyusut, bambu akan menyusut dengan tingkat yang lebih besar dari beton. Oleh karena itu, tulangan bambu perlu diberi perlakuan khusus berupa pemberian lapisan kedap air dan kemudian dilumuri pasir. Sehingga permukaan bambu akan menjadi kasar dan daya lekat bambu terhadap beton menjadi tinggi.

## 2.7 Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka (*frame*) struktural yang memikul beban dari balok. Kolom meneruskan beban-beban dari elevasi atas ke elevasi bawah lebih awal hingga akhirnya sampai ke tanah melalui pondasi. Karena kolom merupakan komponen tekan, maka keruntuhan pada satu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan *collapse* (runtuhnya) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*ultimate total collapse*) seluruh strukturnya. (Nawy, 1985)

Kolom merupakan struktur tekan dikarenakan beban yang bekerja adalah aksial tekan sepanjang sumbu bahan. Kolom merupakan elemen struktur yang harus direncanakan dan dihitung secara cermat mengenai kekuatan terhadap beban yang bekerja, karena elemen struktur ini sangat berhubungan dengan kestabilan bangunan. Kolom terbagi menjadi 3 variasi jenis kolom antara lain kolom persegi, kolom bulat dan kolom komposit. Struktur kolom komposit, merupakan komponen struktur tekan yang diperkuat pada arah memanjang dengan gelagar baja profil atau pipa, dengan atau tanpa diberi batang tulangan pokok memanjang.



Gambar 2.8. Variasi jenis kolom, (a) Kolom Persegi, (b) Kolom Bulat, (c) Kolom Komposit



### 2.7.1 Kolom Pendek Dengan Beban Aksial

Kolom pendek dengan beban aksial Beton dan baja dianggap sebagai satu kesatuan dalam kolom yang dibebani dengan beban aksial. Tegangan & regangan yang terjadi pada kolom dianggap terdistribusi merata ke seluruh penampang kolom, akibat beban aksial yang bekerja. Sehingga regangan yang terjadi pada beton dianggap sama dengan regangan yang terjadi pada baja ( $\varepsilon_c = \varepsilon_s$ ). Beton mencapai kekuatan maksimum, saat regangan yang terjadi mencapai sekitar 0,002 in./in. – 0,003 in./in. Sehingga kapasitas beban aksial maksimum yang dapat dipikul oleh kolom pendek beton bertulang merupakan penjumlahan dari kekuatan beton dan kekuatan baja. Kontribusi beton yaitu  $\sigma_c A_c$  atau  $0,85 f'_c A_g$ . Apabila digunakan luas penampang beton dihitung menggunakan luas penampang bersih beton, maka kontribusi kekuatan beton menjadi  $0,85 f'_c (A_g - A_{st})$ . Sedangkan kontribusi kekuatan baja adalah  $\sigma_s A_s$  atau  $f_s A_s$ .

Rumus untuk mencari kuat beban aksial pada kolom adalah sebagai berikut :

$$P_{n(max)} = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \dots\dots\dots(2-3)$$

Untuk analisis kolom retrofit beton bertulang dengan beban axial tekan murni adalah sebagai berikut :

$$P_{n(max)} = f''_c \times A_g \dots\dots\dots(2-4)$$

$$f''_c = K f'_c \dots\dots\dots(2-5)$$

$$K = 1 + \frac{\rho_s f_{yh}}{f'_c} \dots\dots\dots(2-6)$$

Dimana :

$P_n$  = kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan (kN)

$A_g$  = luas penampang bruto beton (mm<sup>2</sup>)

$f'_c$  = kuat tekan beton (MPa)

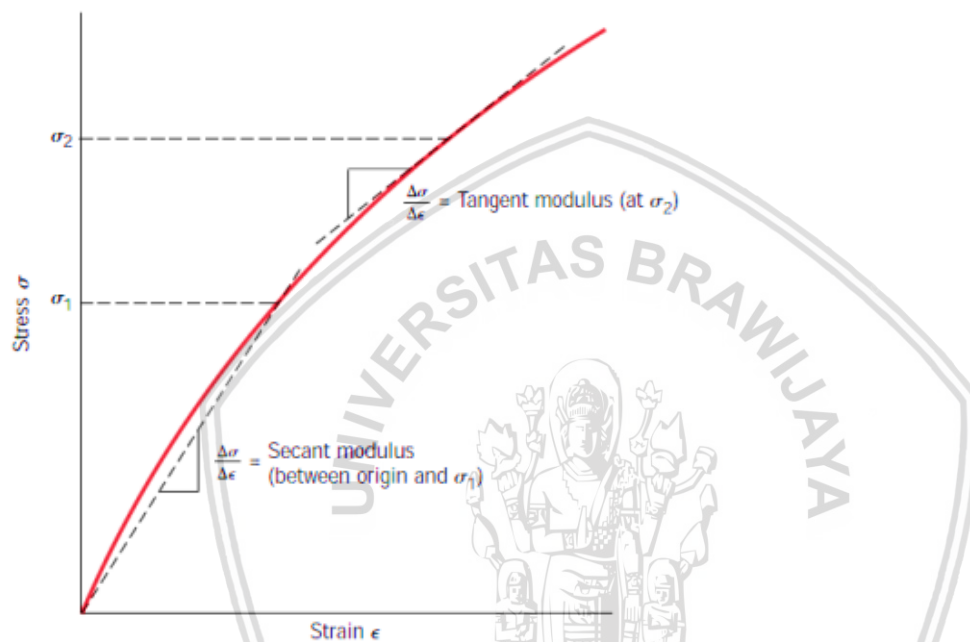
$f_y$  = tegangan leleh dari tulangan utama (MPa)

$f_{yh}$  = tegangan leleh dari sengkang (MPa)

$\rho_s$  = Rasio tulangan trasversal

## 2.8 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas atau disebut juga sebagai modulus young adalah suatu nilai yang digunakan untuk mengetahui nilai kekakuan suatu benda. Semakin kecil nilai modulus elastisitas suatu benda, maka semakin mudah benda menjadi elastis sehingga mampu mengalami perpanjangan atau perpendekan. Sebaliknya, semakin besar nilai modulus elastisitas suatu benda, maka benda menjadi kaku untuk mengalami perpanjangan atau perpendekan.



Gambar 2.9. Grafik Hubungan Tegangan Regangan (tangen dan secan modulus)

Sumber : Amyrezza (2015)

Rumus modulus elastisitas :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots \dots \dots (2-7)$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas (kN/mm<sup>2</sup>)

$\sigma$  = Tegangan (kN/mm<sup>2</sup>)

$\epsilon$  = Regangan

## 2.9 Kekakuan

Kekakuan adalah gaya yang dibutuhkan suatu elemen untuk menghasilkan suatu lendutan (Genre & Timoshenko, 1996)

Rumus kekakuan :

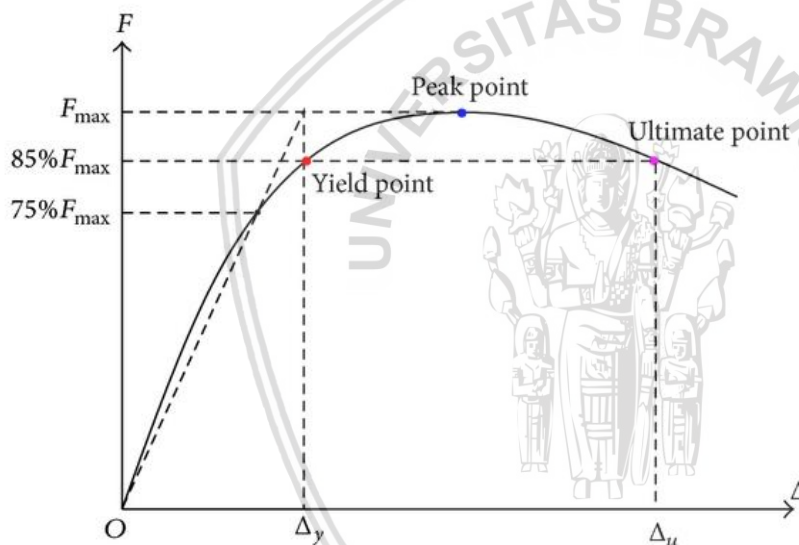
$$k = \frac{P}{\Delta} \dots \dots \dots (2-8)$$

Dimana :

$k$  = Kekakuan Struktur (kN/mm)

$P$  = Gaya Tekan (kN)

$\Delta$  = Defleksi (mm)



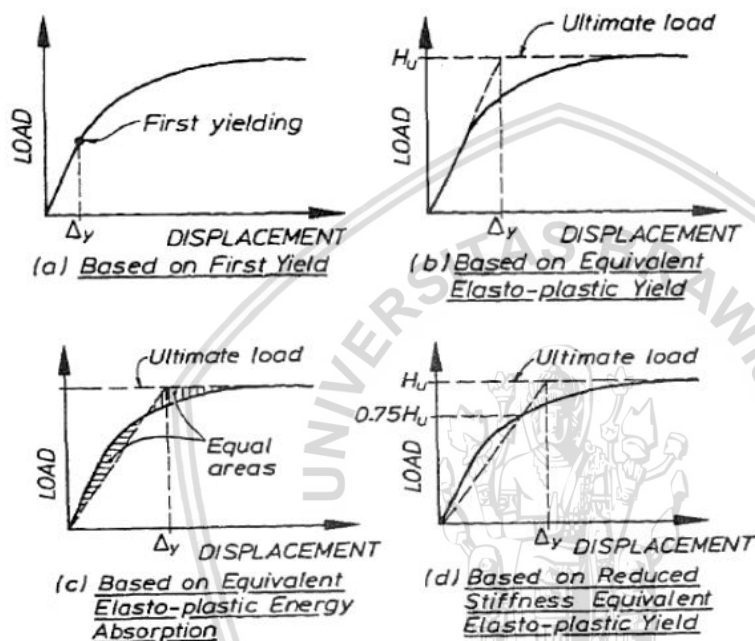
Gambar 2.10. Grafik gaya tekan dan deformasi material yang dibebani aksial

Sumber : Hongmei Zhang et al. (2014)

Dari grafik tersebut, ada beberapa nilai kekakuan yaitu kekakuan pada kondisi elastis, leleh, *ultimate*, dan runtuh. Kekakuan elastis sering didefinisikan sebagai kemampuan suatu struktur untuk kembali ke bentuk awal setelah dibebani (Anonim, 2009). Sedangkan pada grafik hubungan gaya tekan dan deformasi seperti diatas, nilai kekakuan elastis didapat dari tangen arah kurva yang berbentuk linier. Setelah struktur tersebut mengalami fase elastis, fase plastis akan muncul bila beban terus ditambah. Di fase plastis inilah mulai terbentuk sendi plastis dan kemampuan elastis struktur mulai hilang yang berarti struktur tidak dapat kembali ke bentuk semula setelah dibebani. Fase plastis ditandai dengan

mulai keluarnya retak awal. Jika beban terus ditingkatkan, maka struktur akan mencapai batas *ultimate* nya, yaitu ketika struktur sudah tidak mampu menahan beban lagi (Wiratman, 2002). Fase terakhir dari kekakuan adalah kekakuan runtuh yang terjadi setelah beban *ultimate* tercapai.

Menurut Park (1988) lendutan pada titik leleh dapat diambil dari titik potong beban yang mana beban diambil 75% dari beban *ultimate*.



Gambar 2.11. Beberapa Alternatif Pengambilan Lendutan pada Titik Leleh

Sumber : Park (1988)

## 2.10 Daktilitas

Daktilitas (*ductility*) adalah sifat dari suatu bahan yang memungkinkan untuk mengalami perubahan bentuk secara permanen tanpa mengalami kerusakan. Daktilitas atau keliatan diperlukan pada batang atau bagian yang mungkin mengalami beban yang besar secara tiba-tiba, karena perubahan bentuk yang berlebihan akan memberikan tanda-tanda ancaman kerusakan. Berikut merupakan rumus untuk mencari daktilitas dari suatu bahan :

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y} \dots \dots \dots (2-9)$$

Dimana :

$\mu\Delta$  = Nilai daktilitas

$\Delta u$  = Deformasi *ultimate* (mm)

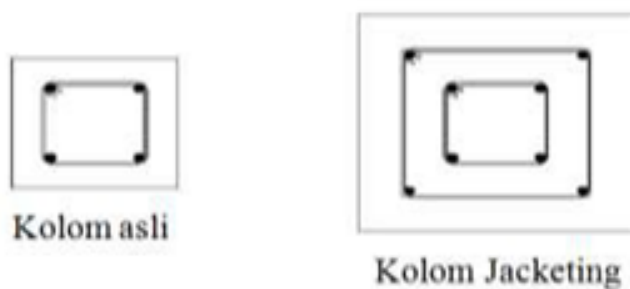
$\Delta y$  = Deformasi leleh (mm)



Gambar 2.12. Grafik Nilai Daktilitas

## 2.11 Perkuatan Kolom dengan Metode *Mortar Jacket*

Sistem *concrete jacketing* adalah suatu sistem perbaikan atau perkuatan beton dengan cara memperbesar penampang dengan memberikan tambahan selimut beton yang sudah ada sebelumnya. Dimana dalam penelitian ini, material selimut yang awalnya beton diganti menjadi mortar. Keuntungan utama dari sistem ini adalah memberikan peningkatan dan pertambahan batas gaya tekan dan daktilitas beton.



Gambar 2.13. Tampak atas kolom dengan perkuatan *concrete jacketing*.

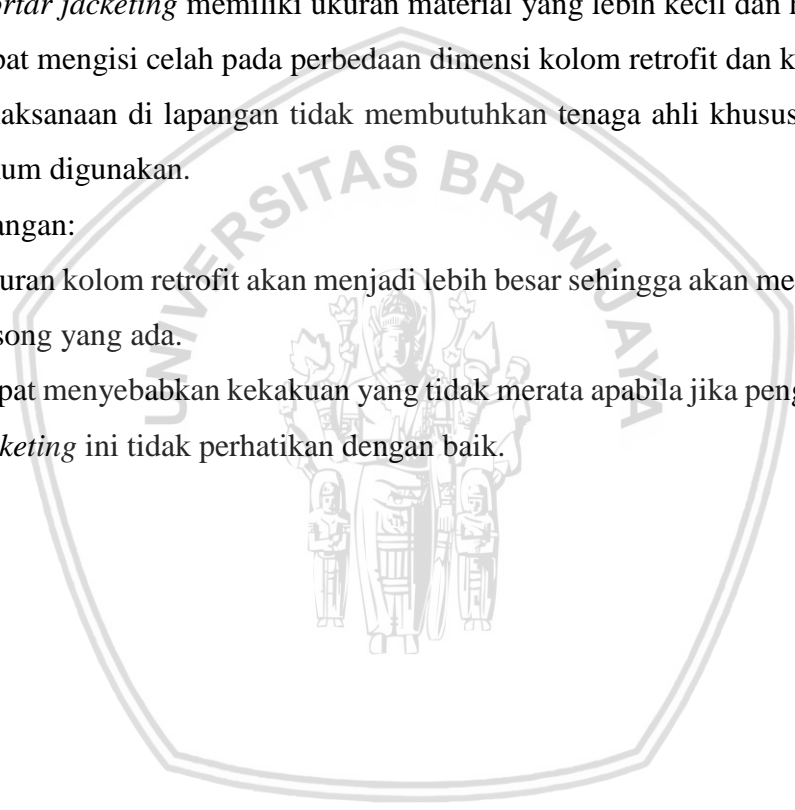
Metode *jacketing* memiliki kelebihan dan kekurangan, adapun sebagai berikut:

a. Kelebihan:

1. Mampu meningkatkan daktilitas struktur dan kekuatan struktur.
2. Mampu menambah kekakuan struktur.
3. Mampu menambah elastisitas struktur.
4. Biaya lebih ekonomis
5. *Mortar jacketing* memiliki ukuran material yang lebih kecil dan halus, sehingga dapat mengisi celah pada perbedaan dimensi kolom retrofit dan kolom asli.
6. Pelaksanaan di lapangan tidak membutuhkan tenaga ahli khusus, karena sudah umum digunakan.

b. Kekurangan:

1. Ukuran kolom retrofit akan menjadi lebih besar sehingga akan mengurangi ruang kosong yang ada.
2. Dapat menyebabkan kekakuan yang tidak merata apabila jika pengecoran *mortar jacketing* ini tidak diperhatikan dengan baik.



- Halaman ini sengaja dikosongkan -





## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian kali ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang. Waktu dari penelitian ini dimulai dari bulan Juli 2018 sampai selesai.

#### 3.2 Bahan Penelitian

Pada penelitian ini digunakan beberapa campuran bahan untuk memperoleh benda uji yang menunjang penelitian ini, antara lain :

##### 3.2.1 *Pozzolan Portland Cement*

*Pozzolan Portland Cement* yang digunakan pada penelitian kali ini adalah semen merk Semen Gresik dengan berat 40 kg per kemasan. Sebelum penelitian dimulai, semen dipastikan dalam kondisi baik dan tersegel, serta tidak terjadi penggumpalan pada semen.

##### 3.2.2 Agregat

Agregat yang digunakan pada penelitian ini yaitu agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir). Untuk agregat kasar hanya digunakan pada kolom asli. Spesifikasi ukuran agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah ukuran maksimum 1 cm dalam penggunaan kolom asli. Sedangkan untuk agregat halus yang digunakan adalah pasir hitam biasa. Agregat yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Malang. Sebelum digunakan untuk penelitian, dilakukan beberapa pengujian terlebih dahulu, seperti pengujian gradasi agregat, kadar air, berat jenis, dan berat isi dari masing-masing agregat untuk memperoleh karakteristik dari agregat tersebut.

##### 3.2.3 Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

### **3.2.4 Tulangan Baja**

Pada penelitian ini tulangan baja digunakan untuk tulangan kolom utama. Ukuran tulangan baja yang digunakan adalah D10 mm untuk tulangan longitudinal atau tulangan utama dan Ø6 mm untuk tulangan transversal atau sengkang.

### **3.2.5 Tulangan Bambu**

Pada penelitian ini tulangan bambu digunakan untuk kolom retrofit. Ada 2 jenis bambu yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu bambu petung dan bambu apus. Bambu petung digunakan untuk tulangan longitudinal dengan 2 jenis ukuran penampang, yaitu 1x1 cm dan 1x0.5 cm. Sedangkan bambu apus digunakan untuk tulangan transversal dengan ukuran penampang 1x1 cm.

### **3.2.6 Bahan Perekat Beton**

Pada penelitian ini digunakan bahan perekat beton untuk merekatkan kolom asli yang akan diperbaiki dengan kolom retrofit. Hal ini bertujuan agar kolom asli menempel pada kolom retrofit pada saat pengecoran, dan tidak terjadi pemisahan diantara keduanya.

## **3.3 Peralatan Penelitian**

Berikut merupakan beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yang meliputi alat untuk mempersiapkan material hingga proses pengujian benda uji. Peralatan yang digunakan berada di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

### **3.3.1 Saringan**

Pada penelitian ini saringan digunakan untuk analisis gradasi agregat. Saringan yang digunakan adalah No. 1.5" hingga No. 4 untuk menentukan gradasi agregat kasar (kerikil) serta saringan No. 4 hingga No. 200 untuk gradasi agregat halus (pasir).

### **3.3.2 Timbangan**

Timbangan pada penelitian ini digunakan untuk mengukur berat masing-masing bahan penyusun beton, selain itu juga benda uji silinder dan kolom. Timbangan yang digunakan adalah timbangan yang memiliki kapasitas 200 kg dengan ketelitian 10 gram dan timbangan yang memiliki kapasitas 5 kg dengan ketelitian 0.1 gram.

### 3.3.3 Mesin Pengaduk Beton

Pada penelitian ini untuk mengaduk bahan-bahan penyusun beton digunakan mesin pengaduk sehingga menjadi campuran yang homogen.

### 3.3.4 Cetakan Benda Uji

Cetakan benda uji yang digunakan pada penelitian antara lain cetakan/bekisting untuk benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm serta cetakan untuk benda uji kolom asli dengan ukuran 12 x 12 x 30 cm dan benda uji kolom retrofit dengan ukuran 18 cm x 18 cm x 25 cm. Cetakan benda uji silinder terbuat dari baja yang tersedia di laboratorium struktur dan bahan konstruksi, sedangkan cetakan benda uji kolom asli dan kolom retrofit terbuat dari kayu dan multiplek.

### 3.3.5 Alat Uji Tekan

Alat uji tekan yang digunakan pada penelitian ini adalah *Compression Test Machine*. Alat ini digunakan untuk mengetahui kuat tekan dari benda uji silinder maupun kolom sesungguhnya dalam satuan gaya.

### 3.3.6 Alat Uji Tarik

Alat uji tarik yang digunakan pada penelitian ini adalah *Hydraulic Universal Testing Machine (UTM)*. Alat uji tarik ini digunakan untuk mengetahui kuat tarik dari tulangan baja Ø6 mm dan D10 mm sesungguhnya.

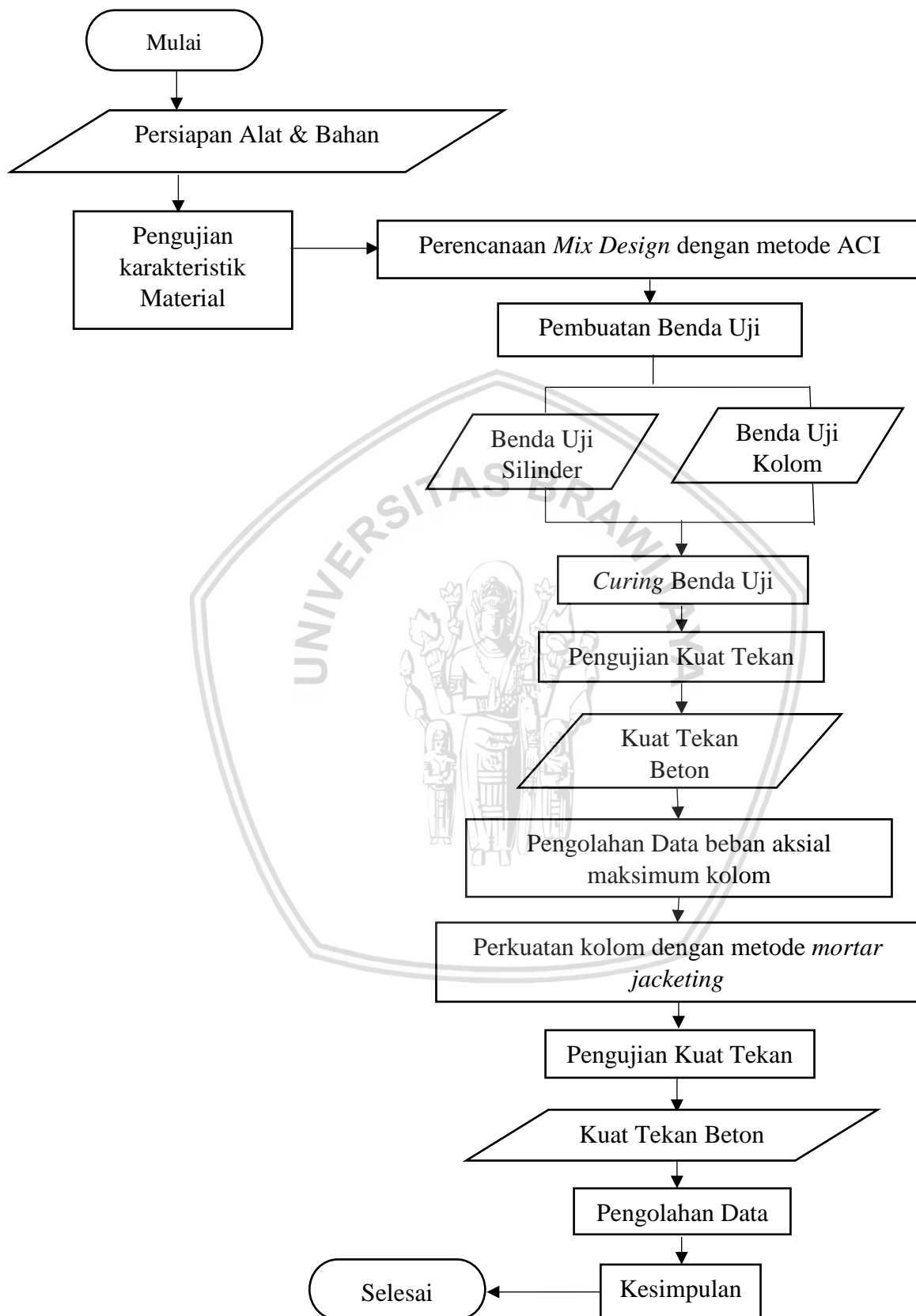
### 3.3.6 Dial Gauge Digital

*Dial Gauge Digital* digunakan pada penelitian ini untuk mengetahui perubahan panjang dari benda uji pada saat diuji tekan. Alat ini dipasang ketika pengujian tekan dilakukan sehingga mendapatkan data defleksi dari benda uji kolom dalam satuan mm Panjang.

### 3.3.7 Alat Bantu Lainnya

Alat bantu lainnya yang digunakan pada penelitian ini antara lain plat baja, karung, ember, alat pengaduk, karung goni, serta bak air untuk proses perawatan benda uji.

### 3.4 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1. Diagram alir tahapan penelitian

### 3.5 Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini akan dibuat tiga jenis benda uji yaitu benda uji mortar, benda uji silinder untuk sampel kolom asli dan kolom retrofit, dan benda uji kolom. Benda uji mortar memiliki ukuran 5 x 5 cm, benda uji silinder memiliki ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, sedangkan benda uji kolom asli memiliki ukuran penampang 12 x 12 cm dan tinggi 30 cm dan benda uji kolom retrofit dengan ukuran penampang 18 x 18 cm dan tinggi 25 cm.

Benda uji mortar dibuat untuk menentukan persentase bahan yang akan digunakan pada *mortar jacketing* untuk memperoleh mutu yang sesuai dengan perencanaan. Pada pembuatan benda uji mortar ini digunakan 10 variasi persentase bahan dengan jumlah benda uji masing-masing variasi 3 buah. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1.

Penelitian benda uji mortar dengan persentase bahan yang berbeda

Kode Mortar	Persentase (x100%)			Jumlah
	Semen	Pasir	Air	
A	1	2,75	0,48	3 buah
B	1	2	0,48	3 buah
C	1	3,5	0,48	3 buah
D	1	2,75	0,4	3 buah
E	1	2,75	0,55	3 buah
F	1	3	0,5	3 buah
G	1	3,25	0,52	3 buah
H	1	3,75	0,55	3 buah
I	1	2,5	0,45	3 buah
J	1	2,25	0,4	3 buah

Variasi jarak sengkang digunakan pada masing-masing benda uji kolom retrofit. Berikut detail dari variasi tulangan dan jarak sengkang yang digunakan pada kolom retrofit.

Tabel 3.2.

Penelitian kolom retrofit dengan variasi tulangan bambu dan jarak sengkang yang berbeda

Kode Kolom	Tulangan Bambu	rho	Sengkang bambu	
			1	2
			Jarak 7 cm	Jarak 11 cm
A	4bh 10 x 10 mm	1,23	3 buah	3 buah
B	8bh 10 x 5 mm	1,23	3 buah	3 buah

Pada penelitian kali ini dikhususkan pembuatan kolom retrofit dengan menggunakan sengkang bambu untuk mendukung program *green construction*. Untuk kode kolom digunakan A.1 – A.2 dan B.1 – B.2. Yaitu, kolom retrofit kode A.1 adalah kolom retrofit yang menggunakan tulangan utama bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 x 10 mm dan dengan jarak antar sengkang 7 cm, dibandingkan dengan kolom retrofit kode A.2 adalah kolom retrofit yang menggunakan tulangan utama bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 x 10 mm dan dengan jarak sengkang 11 cm. Sedangkan kolom retrofit dengan kode B.1 adalah kolom retrofit yang menggunakan tulangan utama bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 10 x 5 mm dan dengan jarak sengkang 7 cm, dibandingkan dengan kolom retrofit kode B.2 adalah kolom retrofit yang menggunakan tulangan utama bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 10 x 5 mm dan dengan jarak sengkang 11 cm. Sehingga hasil akhir dari penelitian ini adalah efektifitas pengekanan kolom retrofit.

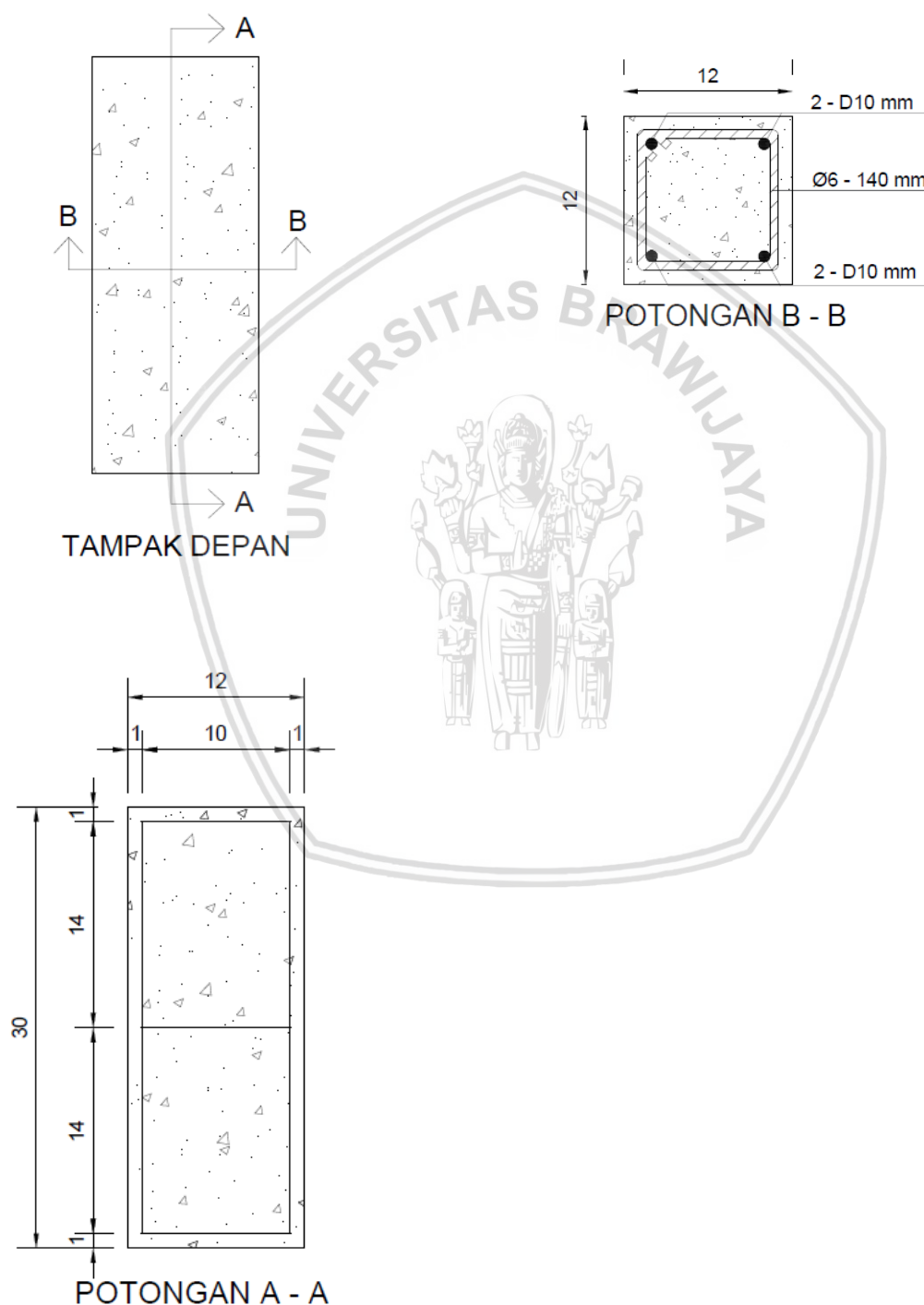
Jumlah benda uji yang digunakan pada saat pembuatan kolom asli yakni 4 buah benda uji silinder sampel kolom asli dan 12 benda uji kolom asli. Sedangkan jumlah benda uji pada pembuatan kolom retrofit juga berjumlah 4 buah benda uji silinder sampel kolom retrofit dan 12 benda uji kolom retrofit. Semua benda uji ini digunakan untuk pengujian tekan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3.

Jumlah benda uji

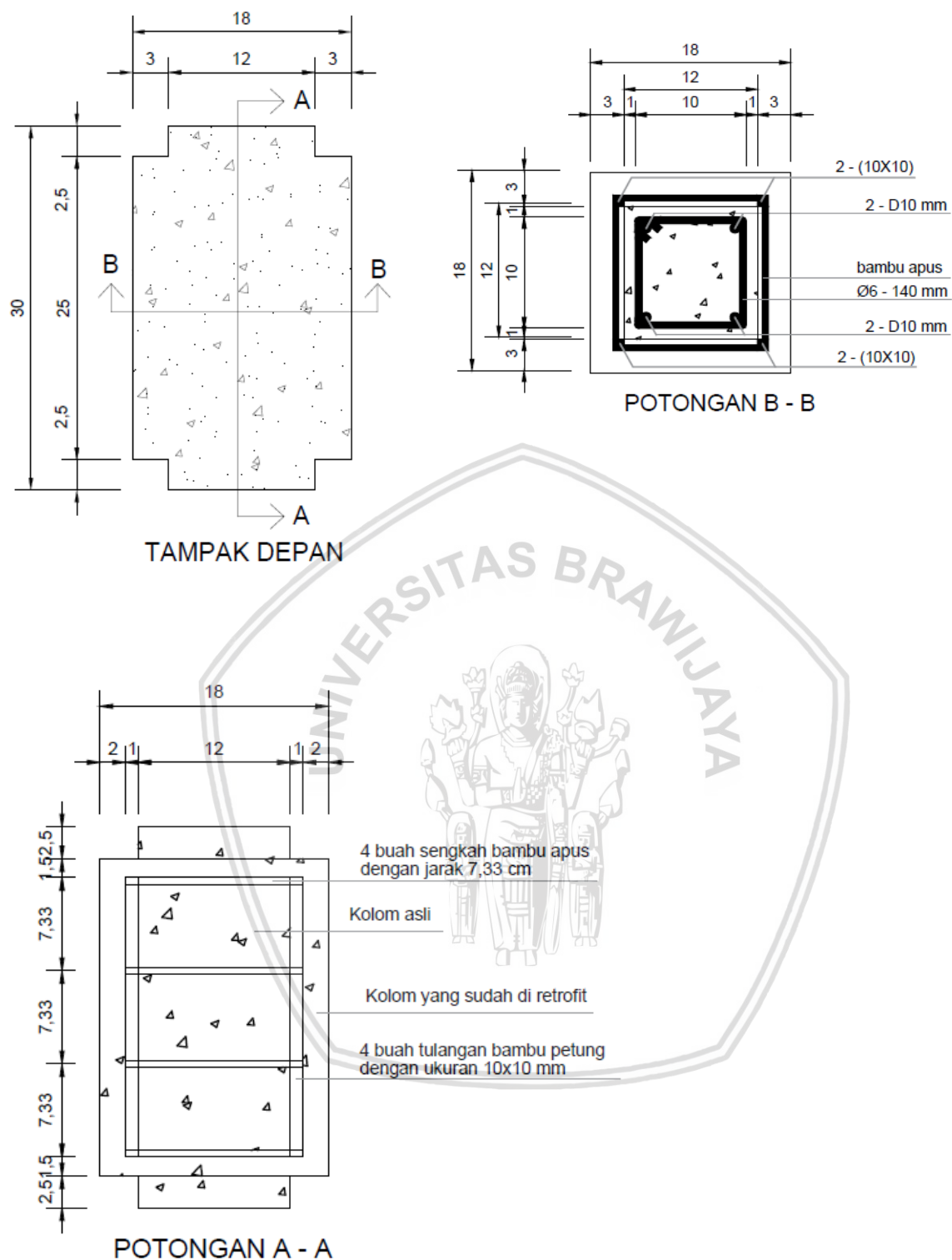
Varian	Jumlah
Benda uji silinder sampel kolom asli	4 buah
Benda uji kolom asli	12 buah
Benda uji kolom retrofit kode A1	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode A2	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode B1	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode B2	3 buah

Benda uji silinder dibuat 2 buah untuk setiap satu kali pengadukan menggunakan molen, dimana satu kali molen menghasilkan 6 sampel benda uji baik kolom asli maupun retrofit. Hal ini dilakukan agar dapat mengetahui dan mengontrol kuat tekan dari kolom tersebut. Dengan catatan benda uji kolom tersebut memakai tulangan atau beton bertulang sedangkan benda uji silinder tidak menggunakan tulangan atau hanya beton saja. Berikut ini detail gambar dari kolom utama dan kolom retrofit :

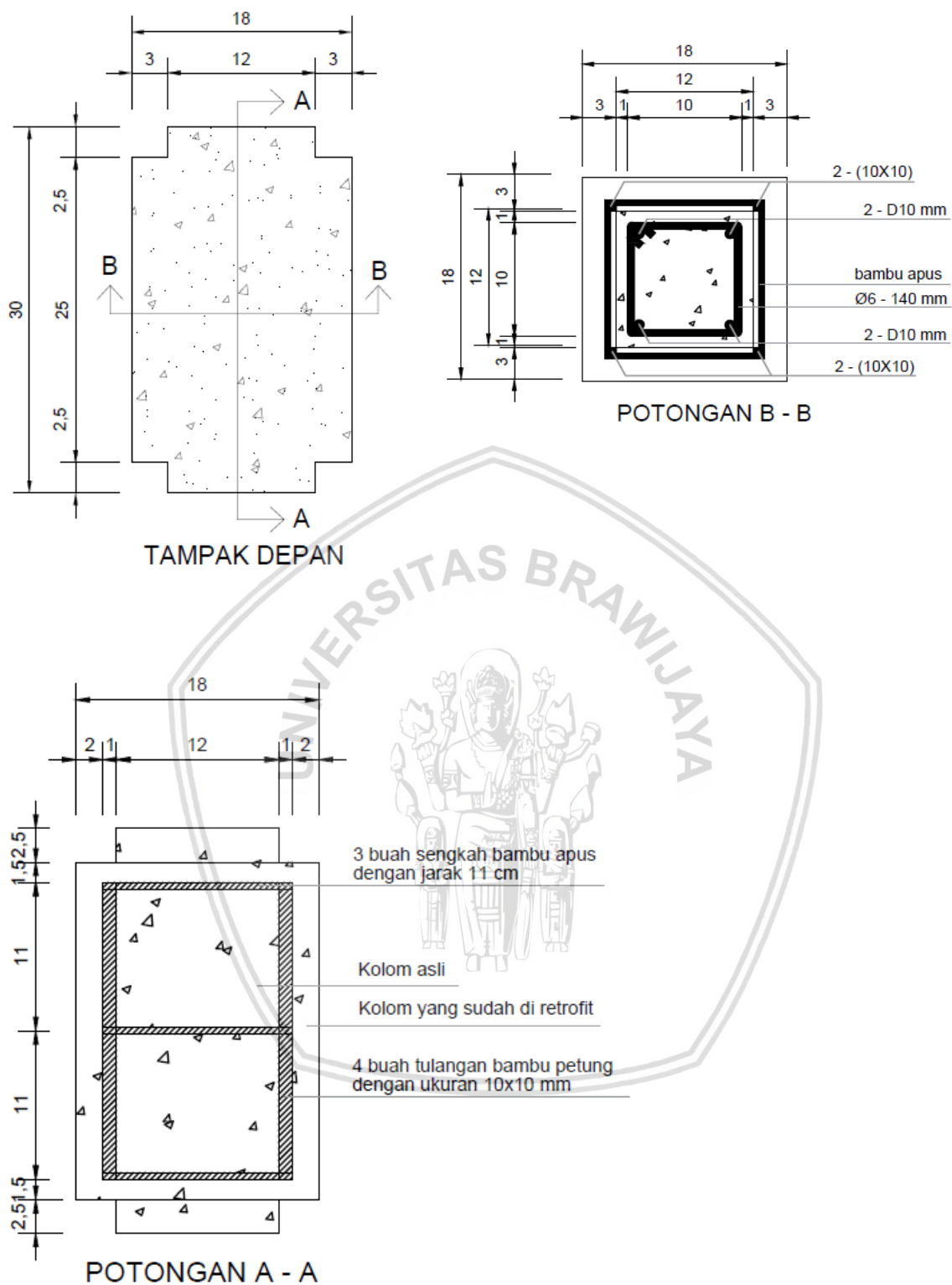


Gambar 3.2. Benda uji kolom asli

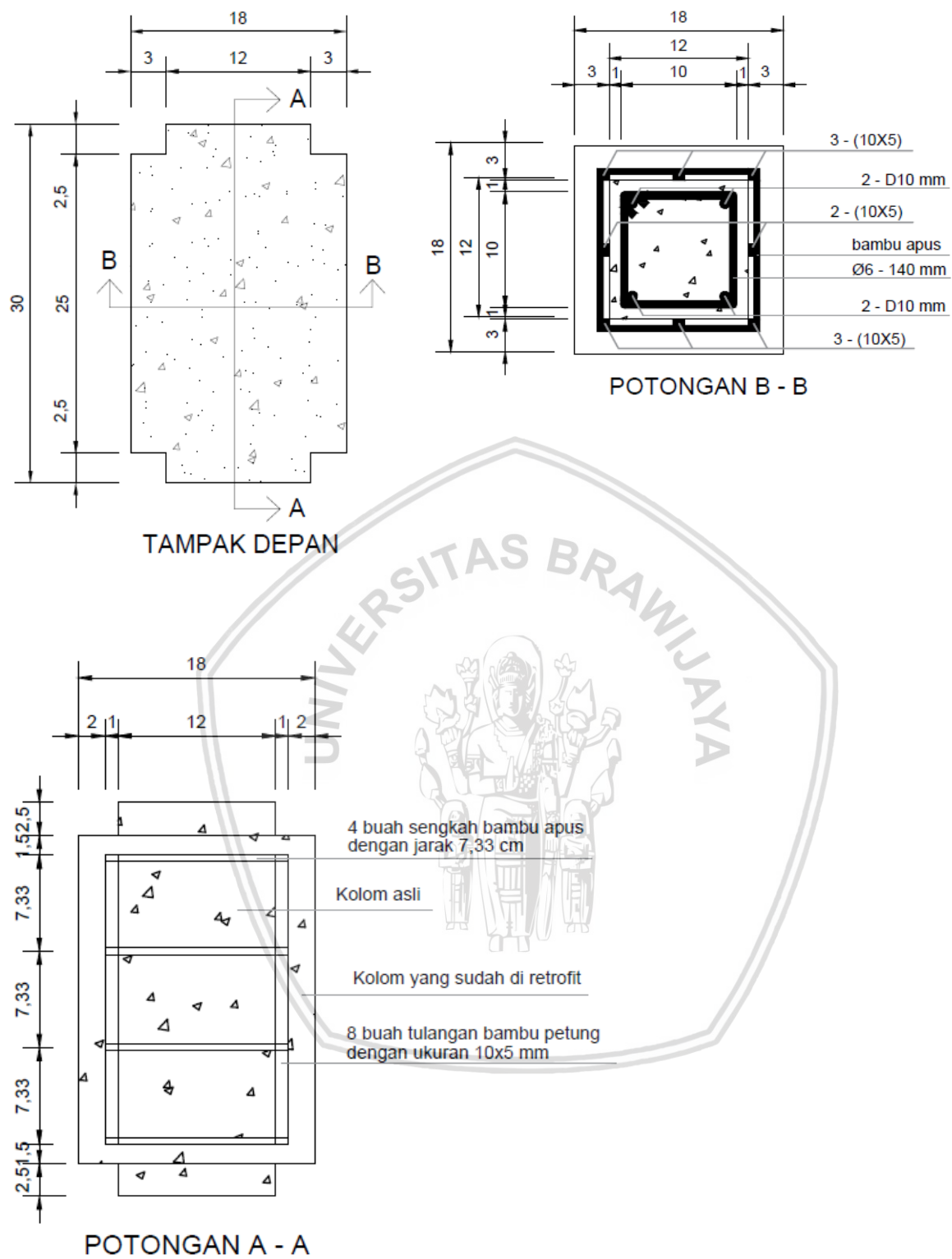




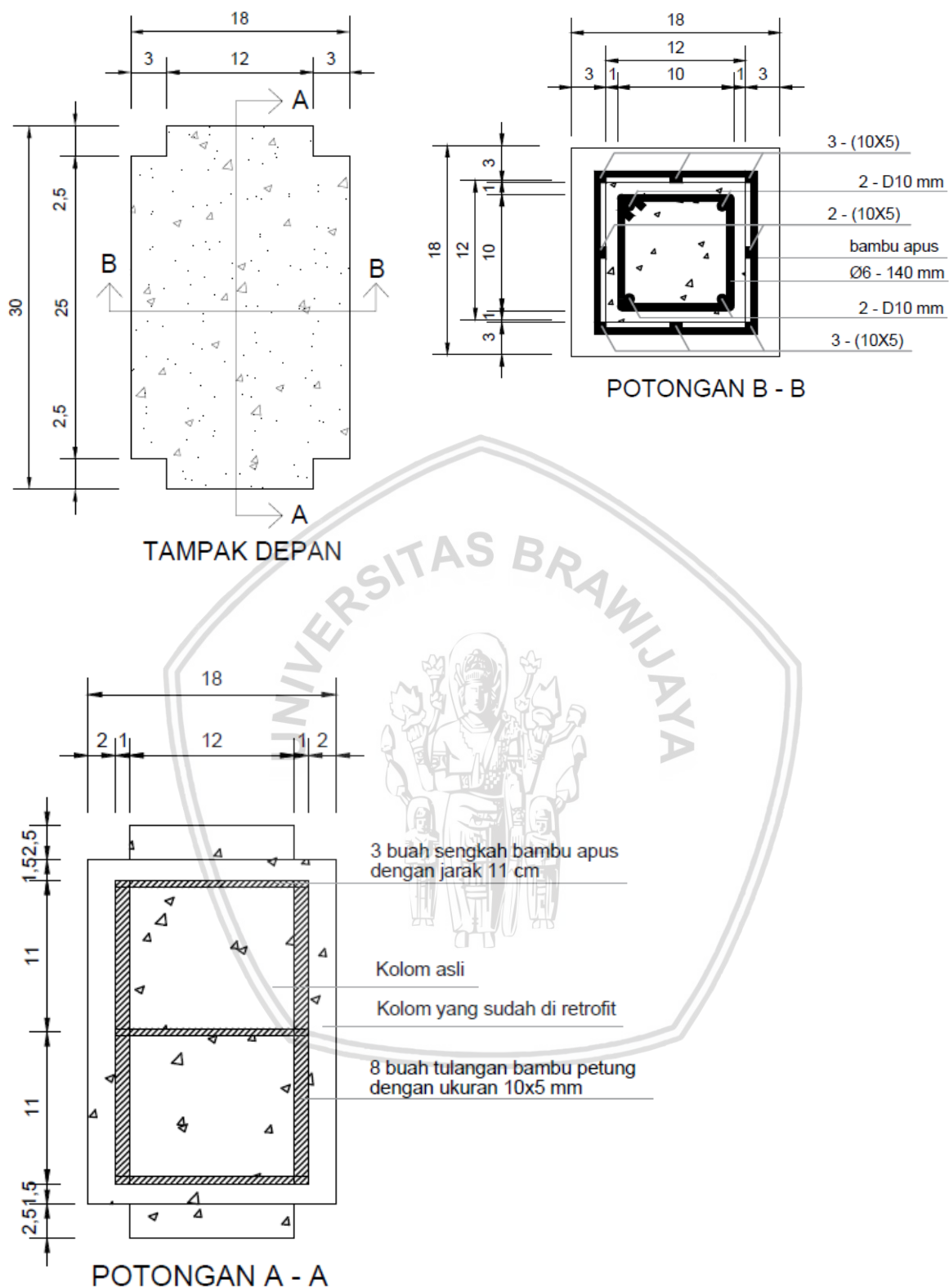
Gambar 3.3. Detail benda uji kolom A1



Gambar 3.4. Detail benda uji kolom A2



Gambar 3.5. Detail benda uji kolom B1



Gambar 3.6. Detail benda uji kolom B2

### 3.6 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang akan diukur dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas (*independent variable*), yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti. Dalam penelitian ini, yang menjadi variabel bebas adalah jarak sengkang pada kolom retrofit.
2. Variabel terikat, yaitu variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas. Variabel terikat dari penelitian ini adalah gaya tekan maksimum, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas pada kolom retrofit.

### 3.7 Prosedur Penelitian

#### 3.7.1 Pengujian Bahan Dasar

Pengujian bahan dasar yang akan digunakan mengacu pada buku petunjuk praktikum teknologi beton dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Bahan dasar yang diuji adalah agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil). Unsur-unsur yang ada dalam pengujian karakteristik agregat halus dan kasar meliputi: analisis butiran, pengujian berat jenis, penyerapan, kadar air, dan berat isi agregat.

#### 3.7.2 Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji mortar adalah sebagai berikut:

1. Bahan penyusun mortar disiapkan dengan kuantitas sesuai perencanaan mortar.
2. Bahan-bahan tersebut dimasukkan ke dalam alat pengaduk kemudian diaduk secara manual selama kurang lebih 5 menit hingga campuran menjadi homogen.
3. Cetakan disiapkan dengan memberikan lapisan tipis dari oli sebelumnya.
4. Campuran mortar dituang ke dalam cetakan mortar 5x5 cm.

Langkah-langkah pembuatan benda uji kolom asli adalah sebagai berikut:

1. Bahan penyusun beton disiapkan dengan kuantitas sesuai *mix design*.
2. Bahan-bahan tersebut dimasukkan ke dalam alat pengaduk kemudian diaduk selama kurang lebih 15 menit hingga campuran menjadi homogen.
3. Setelah pengadukan, diambil sebagian adonan beton untuk dilakukan pengujian *slump*.
4. Cetakan disiapkan dengan memberikan lapisan tipis dari oli sebelumnya.
5. Campuran beton dituang ke dalam cetakan silinder dan kolom.

Langkah-langkah pembuatan benda uji kolom retrofit adalah sebagai berikut:

1. Bahan penyusun mortar disiapkan dengan kuantitas sesuai perencanaan.
2. Bahan-bahan tersebut dimasukkan ke dalam alat pengaduk kemudian diaduk secara manual selama kurang lebih 5 menit hingga campuran menjadi homogen.
3. Cetakan disiapkan dengan memberikan lapisan tipis dari oli sebelumnya.
4. Benda uji kolom asli yang telah diuji tekan dan telah diberi perkuatan dengan menggunakan tulangan bambu petung dan sengkang bambu apus, diberi lem perekat agar beton kolom asli dan merekat dengan baik dengan mortar untuk kolom retrofit. Setelah itu, kolom dimasukkan kedalam bekisting/cetakan yang telah disediakan.
5. Campuran mortar dituang ke dalam cetakan mortar dan kolom.

### 3.7.3 Perawatan Benda Uji

Setelah cetakan benda uji mortar, silinder dan kolom dibuka dalam selang waktu 24 jam setelah pengecoran kemudian dilakukan perawatan dengan tujuan agar panas hidrasi semen tidak merusak kekuatan beton. Perawatan benda uji mortar dilakukan selama 7 hari sedangkan untuk benda uji silinder dan kolom dilakukan selama 28 hari sesuai dengan umur beton rencana. Perawatan benda uji meliputi dua cara antara lain:

1. Benda uji mortar direndam dalam bak berisi air dengan suhu  $23^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$ .
2. Benda uji silinder dan kolom diselimuti dengan karung goni basah dan tiap hari dibasahi terus menerus dengan air.

### 3.7.4 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tekan dari benda uji mortar yang berumur 7 hari dan beton yang telah berumur 28 hari. Prosedur yang dilakukan dalam pengujian kuat tekan adalah sebagai berikut:

- a. Uji tekan mortar
  1. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji dan kerapatan mortar sebagai data tambahan.
  2. Benda uji diletakkan pada mesin uji secara sentris.
  3. Mesin uji tekan dijalankan dengan penambahan beban secara konstan hingga benda uji hancur.

4. Beban saat mortar hancur dicatat untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat diterima mortar.

b. Uji tekan beton silinder

1. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji dan kerapatan beton sebagai data tambahan.
2. Pada permukaan atas benda uji dilapisi (*caping*) dengan mortar belerang dengan tujuan agar tegangan yang diberikan mesin penguji dapat terdistribusi secara merata pada permukaan beton.
3. Benda uji diletakkan pada mesin uji secara sentris.
4. Mesin uji tekan dijalankan dengan penambahan beban secara konstan hingga benda uji hancur.
5. Beban saat beton hancur dicatat untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat diterima beton.

c. Uji tekan kolom

1. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji sebagai data tambahan.
2. Pada permukaan atas benda uji kolom diberi potongan kardus tebal dengan tujuan agar tegangan yang diberikan mesin penguji dapat terdistribusi secara merata pada permukaan beton. Pada permukaan bawah benda uji kolom diberi plat memanjang yang berfungsi sebagai penampang dial.
3. Benda uji diletakkan pada mesin uji secara sentris.
4. Mesin uji tekan dijalankan dengan penambahan beban secara konstan hingga benda uji hancur. Dan untuk mendapatkan data perubahan panjang dari benda uji, digunakan dial yang berguna untuk membaca hasil perubahan panjang pada saat setiap penambahan beban. Pada setiap penambahan beban, data hasil bacaan tersebut dicatat untuk mendapatkan grafik hubungan gaya tekan dan defleksi serta grafik hubungan tegangan dan regangan beton. Untuk memperoleh data tersebut digunakan alat bantu video recorder, jadi selama pengujian berlangsung juga dilakukan perekaman video yang mampu memuat nilai beban yang dibaca oleh alat uji tekan dan defleksi yang dibaca oleh *dial gauge digital*.



5. Beban saat beton hancur dicatat untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat diterima beton.
6. Dan langkah yang sama dilakukan kembali mulai langkah 1 untuk mendapatkan data yang sama pada kolom retrofit



Gambar 3.7. Skema Tipikal Pengujian Benda Uji Kolom Utama dan Retrofit

### 3.7.5 Pengujian Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tarik dari tulangan baja Ø6 mm dan D10 mm. Prosedur yang dilakukan dalam pengujian kuat tarik baja adalah sebagai berikut:

1. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu diukur diameternya dengan jangka sorong untuk mengetahui diameter sebenarnya tulangan tersebut.
2. Siapkan kertas millimeter blok untuk tempat hasil pembacaan tegangan regangan tarik dari benda uji dapat tergambar.
3. Benda uji diletakkan pada mesin uji tarik. Pastikan bahwa benda uji benar-benar dalam keadaan terjepit bagian atas dan bawahnya dengan kuat.
4. Mesin uji tekan dijalankan hingga benda uji putus.
5. Pada saat pengujian akan terlihat jarum pertama kali berhenti yang menunjukkan tegangan leleh dan pada pemberhentian jarum kedua yang menunjukkan kuat tarik maksimum. Setelah itu akan didapatkan grafik tegangan tarik dari benda uji.
6. Grafik yang didapat dari hasil pengujian akan di analisis.

[illegible]

Form pengumpulan data dari pengujian kuat tekan beton silinder untuk sampel kolom asli dan kolom retrofit.

Tabel 3.5.

Form pengumpulan data dari pengujian kuat beban aksial kolom asli dan kolom retrofit.

Form pengumpulan data dari pengujian kuat beban aksial kolom asli dan kolom retrofit.

Tabel 3.6

Form pengumpulan data dari pengujian uji tarik tulangan baja Ø6 mm dan D10 mm

Benda Uji	Diameter	Tegangan Leleh (fy)	Tegangan Ultimit	Tegangan Leleh Rata-Rata	Tegangan Ultimit Rata-Rata
	(mm)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)

### 3.8.2 Pengolahan Data

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan tegangan-regangan kolom retrofit, kapasitas aksial tekan kolom dan defleksi kolom retrofit, kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit dan efektifitas rasio tulangan dan jarak sengkang pada kolom retrofit. Penelitian ini menggunakan alat *compression test* dan *dial gauge*, *compression test* tersebut akan didapatkan kapasitas aksial tekan maksimum kolom dan akan dibagi dengan luasan penampang kolom tersebut maka akan di dapatkan daya tekan dari kolom tersebut dan *dial gauge* akan menghasilkan nilai defleksi yang didapatkan dari hasil perpanjangan/perpendekan kolom akibat diberi beban. Selain itu, data-data yang telah didapatkan pada kapasitas tekan maksimum kolom retrofit akan didapatkan variasi rasio tulangan dan jarak sengkang yang paling efektif. Pada penelitian ini parameter tegangan-regangan didasarkan pada nilai gaya tekan dan defleksi dari kolom. Pada pengolahan data ini akan dibandingkan antara hasil uji secara aktual dengan teoritis.

Tabel 3.7. Tabel pengolahan data gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)		75% Gaya Tekan Maksimum (kN)		Defleksi (mm)		Kekakuan (kN/mm)	
		Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit

Tabel 3.8. Tabel pengolahan data gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit

No	Defleksi mm	A.1.1 Gaya Tekan kN	A.1.2 Gaya Tekan kN	A.1.3 Gaya Tekan kN	RATA - RATA Gaya Tekan kN

Tabel 3.9. Tabel pengolahan data tegangan dan regangan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

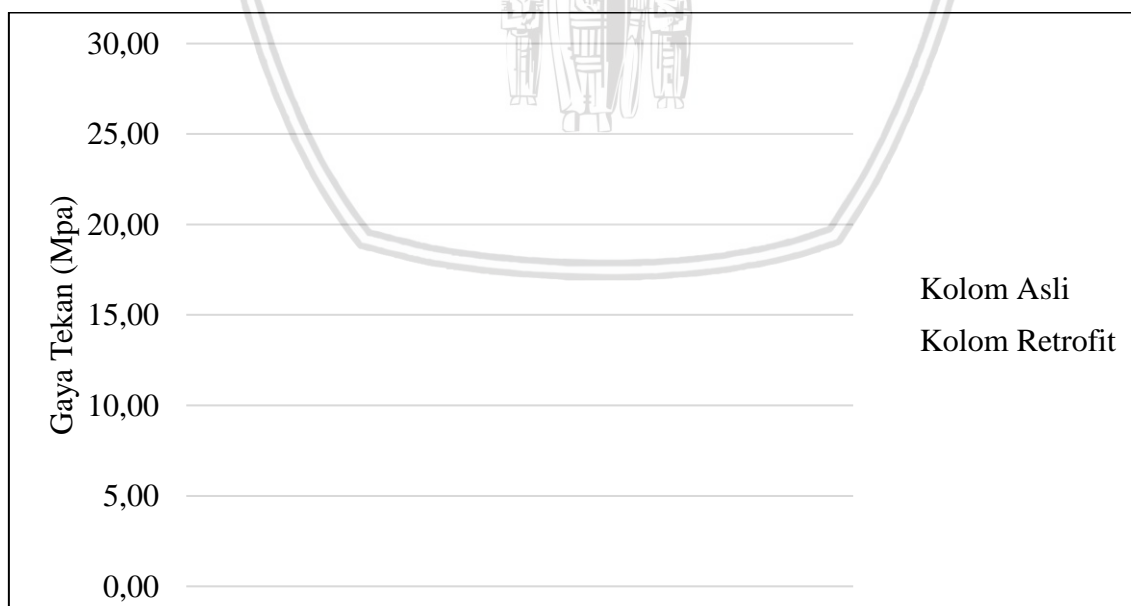
NO	Kode Benda Uji Kolom	Tegangan Maksimum (kN/mm <sup>2</sup> )		75% Tegangan Maksimum (kN/mm <sup>2</sup> )		Regangan		Modulus Elastisitas (kN/mm <sup>2</sup> )	
		Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit

Tabel 3.10. Tabel pengolahan data tegangan dan regangan kolom asli dan kolom retrofit

No	Regangan	A.1.1	A.1.2	A.1.3	RATA - RATA
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
		kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>

Tabel 3.11. Tabel pengolahan data daktilitas pada kolom asli dan kolom retrofit

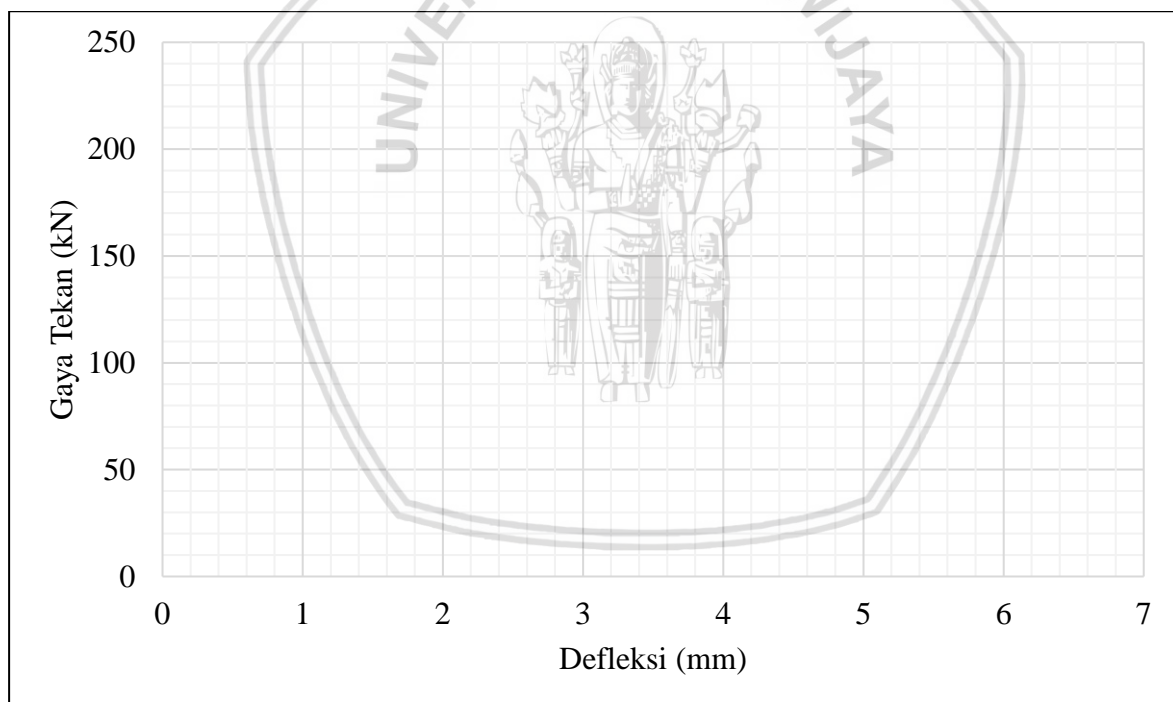
Kolom	Gaya Tekan Max	$\Delta y$	Beban Runtuh	% Beban Keruntuhan	Beban Runtuh	$\Delta u$	Dakti- litas	Peningkatan Daktilitas
	kN	mm	kN		kN	mm		%



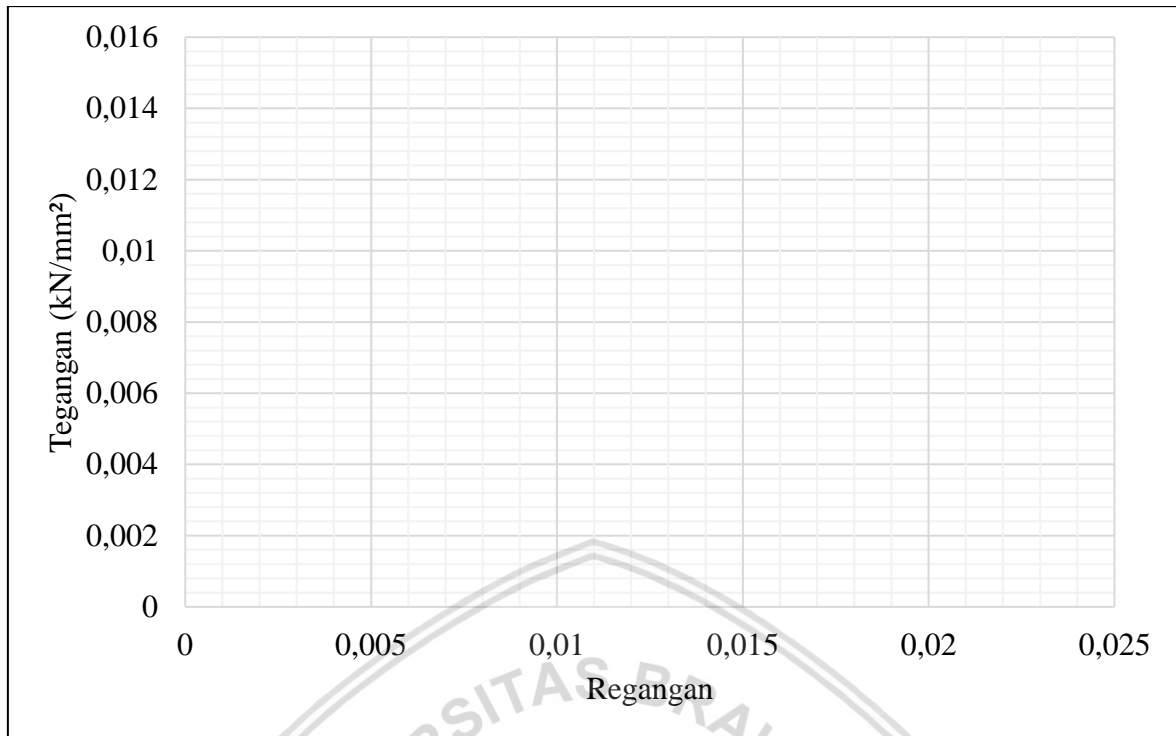
Gambar 3.8. Grafik perbandingan kuat tekan beton uji silinder kolom asli dengan kolom retrofit.



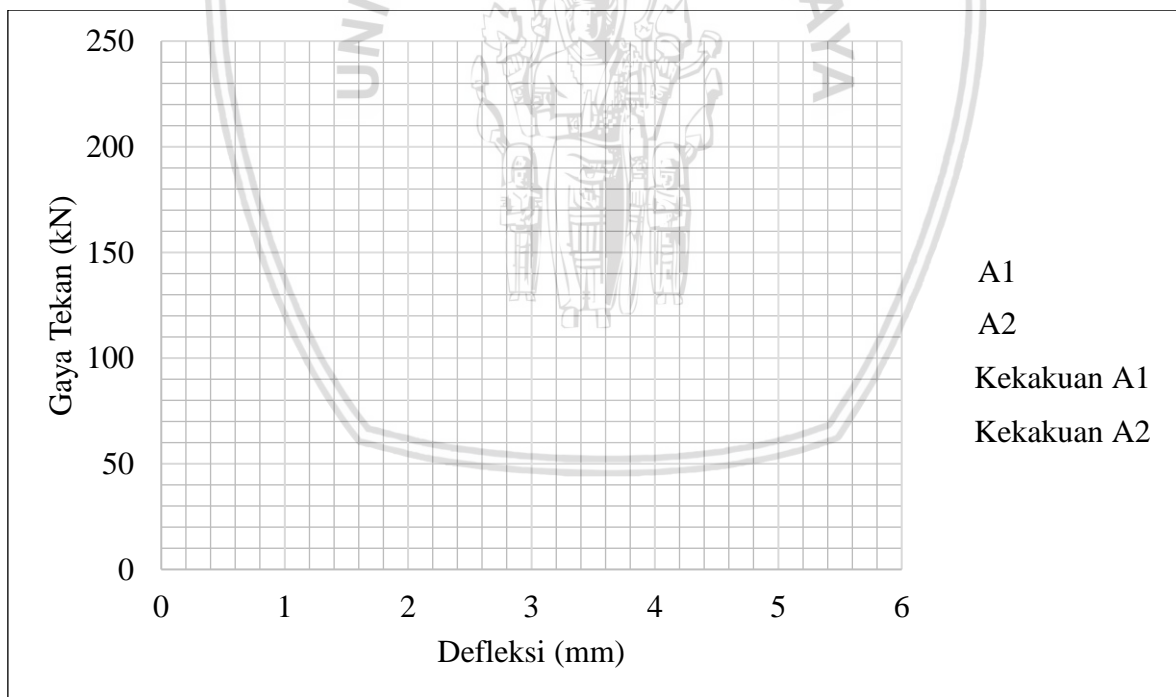
Gambar 3.9. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli dengan retrofit



Gambar 3.10. Grafik gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit

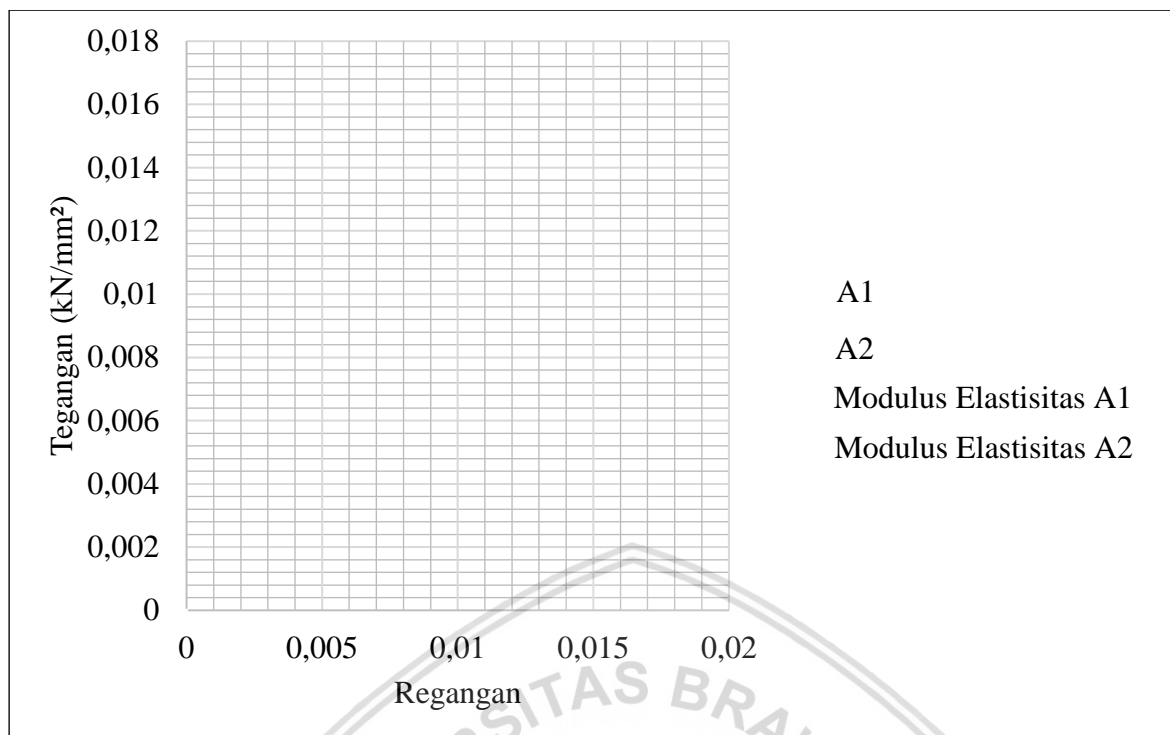


Gambar 3.11. Grafik tegangan dan regangan kolom asli dan kolom retrofit

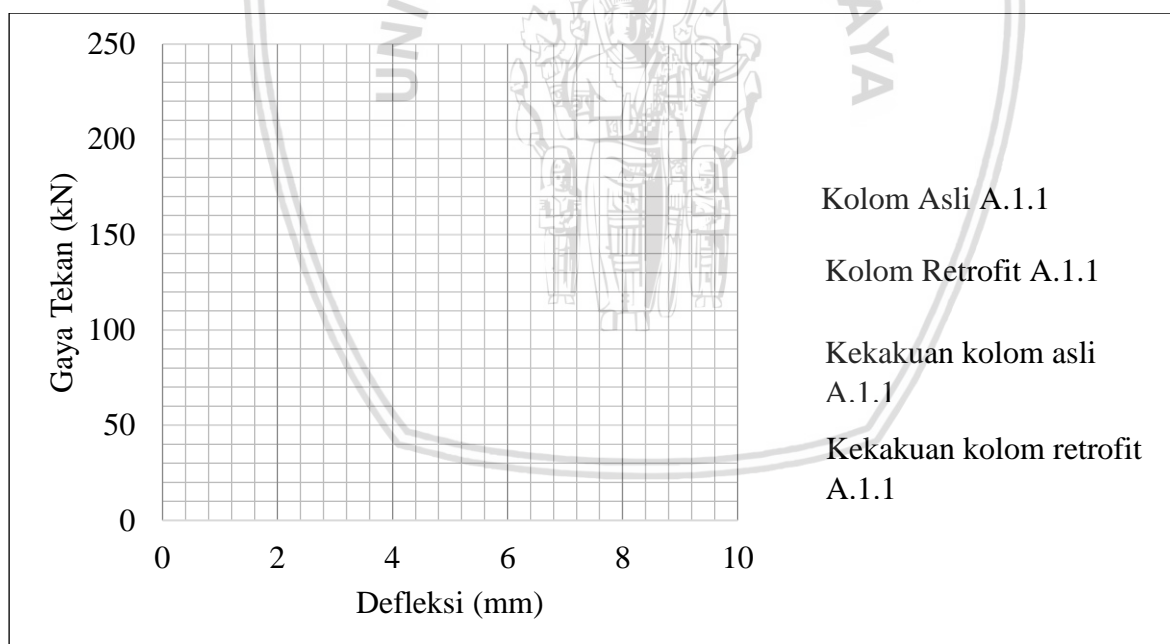


Gambar 3.12. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit

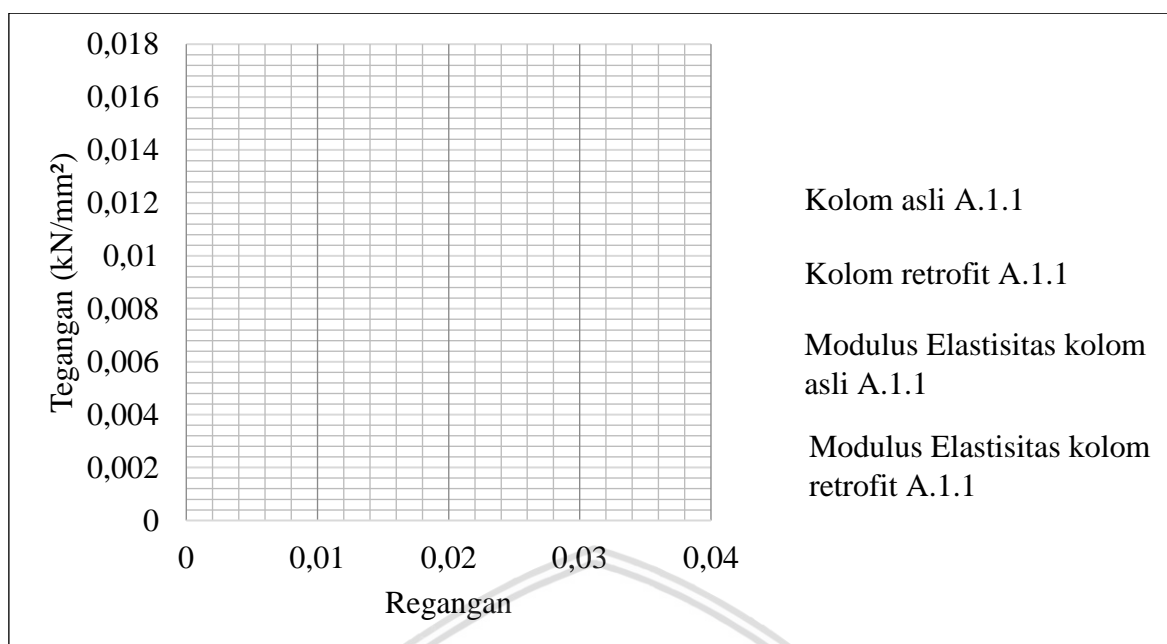




Gambar 3.13. Grafik perbandingan tegangan dan regangan kolom asli dan kolom retrofit



Gambar 3.14. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dengan kolom retrofit



Gambar 3.15. Grafik perbandingan tegangan dan regangan kolom asli dengan kolom retrofit.

### 3.9 Hipotesis Penelitian

Dari tinjauan pustaka yang telah dibahas pada penelitian ini maka dapat dibuat hipotesis untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Gaya tekan maksimum kolom retrofit dengan jarak sengkang yang rapat akan lebih besar dibandingkan dengan gaya tekan maksimum kolom retrofit dengan jarak sengkang yang lebih renggang.
2. Nilai kekakuan, modulus elastisitas dan daktilitas pada kolom retrofit dengan jarak sengkang yang rapat akan semakin besar dibandingkan dengan kolom retrofit dengan jarak sengkang yang lebih renggang.

- Halaman ini sengaja dikosongkan -



## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisis Karakteristik Material Penyusun Benda Uji

##### 4.1.1 Agregat Halus

Hasil pemeriksaan karakteristik agregat halus yang akan digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

1. Zona agregat : zona 1
2. Berat jenis SSD : 2,48
3. Penyerapan : 4,43 %
4. Berat isi : 1436,9 gr/cc
5. Kadar air : 3,77 %

##### 4.1.2 Agregat Kasar

Hasil pemeriksaan karakteristik agregat kasar yang akan digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

1. Zona agregat : maksimum 10 mm untuk kolom asli
2. Berat jenis SSD : 2,72
3. Penyerapan : 0,25 %
4. Berat isi : 1526,7 gr/cc
5. Kadar air : 2,42 %

##### 4.1.3 Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian kali ini yaitu semen *Portland pozzolan cement* (PPC) dengan merk semen gresik kemasan 40 kg.

##### 4.1.4 Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini adalah air bersih dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) yang diambil dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

#### 4.1.5 Tulangan Baja

Dari hasil pengujian tulangan baja yang akan digunakan diperoleh nilai dari tegangan leleh ( $f_y$ ) dan tegangan putus atau tegangan ultimate ( $f_u$ ) dari sampel tulangan baja yang akan digunakan. Pengujian yang dimaksud adalah pengujian tarik baja. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya, Malang. Dari hasil pengujian tersebut diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4.1.

Uji Tulangan Baja (Sengkang) Ø6 mm

Benda Uji	Diameter (mm)	Tegangan Leleh ( $f_y$ ) (Mpa)	Tegangan Ultimit (Mpa)	Tegangan Leleh Rata-Rata (Mpa)	Tegangan Ultimit Rata-Rata (Mpa)
1A	6	495,15	671,99	506,94	677,88
1B	6	565,88	689,67		
1C	6	459,78	671,99		

Tabel 4.2.

Uji Tulangan Baja (Tulangan Utama) D10 mm

Benda Uji	Diameter (mm)	Tegangan Leleh ( $f_y$ ) (Mpa)	Tegangan Ultimit (Mpa)	Tegangan Leleh Rata-Rata (Mpa)	Tegangan Ultimit Rata-Rata (Mpa)
2A	10	369,24	496,56	375,61	496,56
2B	10	381,97	496,56		
2C	10	375,61	496,56		

Tabel 4.3.

Uji Tulangan Bambu Petung (Tulangan Utama) 10x10 mm

Benda Uji	Dimensi (mm)	Tegangan Leleh ( $f_y$ ) (Mpa)	Tegangan Ultimit (Mpa)	Tegangan Leleh Rata-Rata (Mpa)	Tegangan Ultimit Rata-Rata (Mpa)
3A	10X10	75	120	80	140
3B	10X10	85	160		

Tabel 4.4.

Uji Tulangan Bambu Petung (Tulangan Utama) 10x5 mm

Benda Uji	Dimensi	Tegangan Leleh (fy)	Tegangan Ultimit	Tegangan Leleh Rata-Rata	Tegangan Ultimit Rata-Rata
	(mm)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
4A	10X5	100	240	80	220
4B	10X5	60	200		

Tabel 4.5.

Uji Tulangan Bambu Apus (Senggang) 10x5 mm

Benda Uji	Dimensi	Tegangan Leleh (fy)	Tegangan Ultimit	Tegangan Leleh Rata-Rata	Tegangan Ultimit Rata-Rata
	(mm)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
5A	10X5	140	240	140	240

#### 4.2 Campuran Beton

Perbandingan campuran beton atau perhitungan *mix design* sesuai dengan SNI perencanaan campuran beton normal maka diperoleh proporsi masing-masing bahan berdasarkan perbandingan berat sebagai berikut :

Semen : Pasir : Kerikil : Air = 1 : 2.3 : 3 : 0.7

#### 4.3 Campuran Mortar

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian beberapa variasi mortar yang mengacu pada SNI 03-6285-2002 tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Mortar Semen. Berdasarkan hasil pengujian tersebut diperoleh bahwa perbandingan campuran dengan hasil kuat tekan yang paling sesuai dengan perencanaan ialah sebagai berikut :

Semen : Pasir : Air = 1 : 3,5 : 0,48

#### 4.4 Uji Slump Beton

Pengujian slump atau *slump test* digunakan untuk mengetahui kekentalan dari adukan beton yang telah dibuat. Uji slump dilakukan dengan bantuan alat bernama “kerucut abrams”. FAS (Faktor Air Semen) yang direncanakan pada penelitian kali ini adalah 0,6, dimana dibuat 2 benda uji silinder untuk setiap pengadukan menggunakan molen dimana satu molen menghasilkan 6 benda uji kolom asli. Hasil dari *slump test* yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.6.

Hasil Uji Slump Beton Silinder untuk Benda Uji Kolom Asli

NO	Kode Benda Uji	Slump
		(cm)
1	A1-A2 (1)	12
2	A1-A2 (2)	12
3	B1-B2 (2)	13

Pada penelitian kali ini campuran beton didesain dengan nilai slump antara 60-180 mm, sehingga campuran beton yang digunakan telah memenuhi syarat.

#### 4.5 Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Silinder

Benda uji silinder dibuat untuk sampel dari kolom asli berjumlah 2 buah untuk setiap 6 benda uji kolom asli. Dimana hal ini dilakukan untuk mengetahui mutu beton ( $f'_c$ ) dari benda uji kolom asli. Benda uji silinder ini sendiri memiliki dimensi dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Untuk menghitung dari kuat tekan beton ( $f'_c$ ) dari benda uji silinder yang telah dibuat, digunakan rumus :

$$f'_c = \frac{P_{max}}{A}$$

Dimana :

$f'_c$  = Kuat tekan beton (MPa)

$P_{max}$  = Beban maksimum (kN)

$A$  = Luas tekan penampang (mm<sup>2</sup>)

Tabel 4.7.

Hasil uji kuat tekan benda uji silinder beton (sampel benda uji kolom asli)

NO	Kode Benda Uji	Umur	Slump	Berat	Beban Maksimum	Gaya Tekan	Gaya Tekan Rata-Rata
		(Hari)	(cm)	(kg)	(kN)	(Mpa)	(Mpa)
1	A1 - A2 (1)	28	12	12,7	245,9	13,92	15,02
2	A1 - A2 (2)		12	12,4	285,1	16,13	
3	B1 - B2 (2)		13	12,15	239,5	13,55	13,55



Berikut contoh perhitungan kuat tekan beton (Benda uji silinder beton A1 - A2 (1) sampel benda uji kolom asli):

Diketahui :

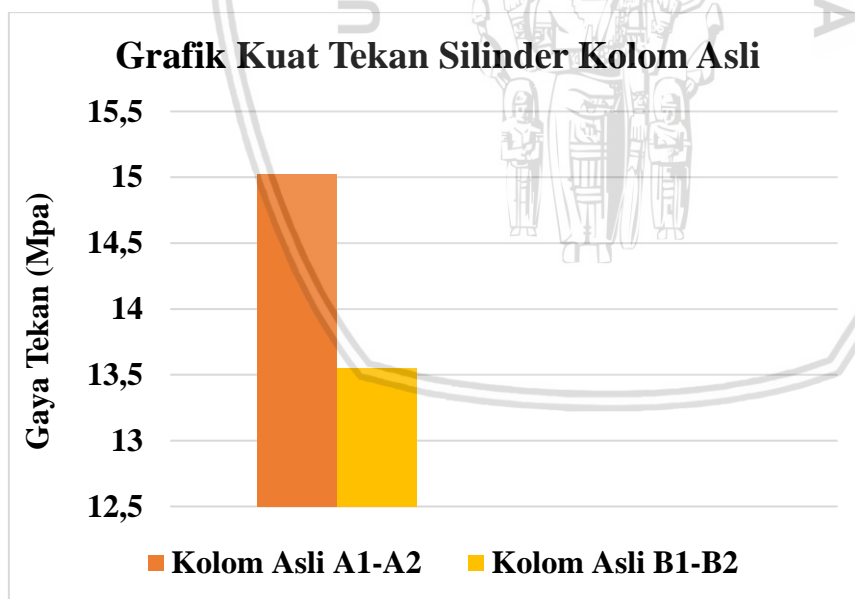
$$P_{\max} = 245,9 \text{ kN} = 245900 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi \times 150^2 \\ &= 17671.46 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Ditanya :  $f'_c$  ?

Jawab :

$$\begin{aligned} f'_c &= \frac{P_{\max}}{A} \\ &= \frac{245900}{17671.46} \\ &= 13,92 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Gambar 4.1. Grafik hasil uji kuat tekan beton silinder kolom asli

Dari hasil pengujian benda uji silinder yang telah dilakukan diperoleh nilai rata-rata yaitu untuk benda uji kolom asli memiliki kuat tekan sebesar 15,02 MPa untuk sampel A1-A2 dan 13,55 MPa untuk sampel B1-B2. Sedangkan mutu beton dalam perencanaan *mix design* adalah 15 MPa. Hasil dari pengujian benda uji silinder menunjukkan bahawa kuat tekan beton yang dihasilkan tidak jauh dari perencanaan *mix design*.

#### 4.6 Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Mortar

Benda uji mortar dibuat untuk sampel dari kolom retrofit yang berjumlah masing-masing 3 buah untuk setiap benda uji. Hal ini dilakukan untuk mengetahui mutu mortar ( $f'_c$ ) dari lapisan benda uji kolom retrofit. Benda uji mortar ini berbentuk persegi dan memiliki dimensi 5 x 5 x 5 cm.

Untuk menghitung dari kuat tekan mortar ( $f'_c$ ) dari benda uji mortar yang telah dibuat, digunakan rumus :

$$f'_c = \frac{P_{max}}{A}$$

Dimana :

$f'_c$  = Kuat tekan beton (MPa)

$P_{max}$  = Beban maksimum (kN)

$A$  = Luas tekan penampang (mm<sup>2</sup>)

Tabel 4.8.

Hasil uji kuat tekan benda uji mortar

NO	Kode Benda Uji	Umur (Hari)	Berat (gram)	Beban Maksimum (kN)	Gaya Tekan (Mpa)	Gaya Tekan Rata-Rata (Mpa)
1	A1 (1)	28	302,40	63,50	25,40	28,60
	A1 (2)		317,40	70,10	28,04	
	A1 (3)		320,20	80,90	32,36	
2	A2 (1)		304,90	74,00	29,60	28,99
	A2 (2)		314,10	79,10	31,64	
	A2 (3)		315,40	64,30	25,72	
3	B1 (1)		292,20	111,30	44,52	41,61
	B1 (2)		317,40	88,90	35,56	
	B1 (3)		306,80	111,90	44,76	
4	B2 (1)		314,00	71,30	28,52	33,63
	B2 (2)		297,10	88,40	35,36	
	B2 (3)		307,20	92,50	37,00	

Berikut contoh perhitungan kuat tekan mortar (Benda uji mortar A1 (1) sampel benda uji kolom retrofit):

Diketahui :

$$P_{max} = 63,5 \text{ kN} = 63500 \text{ N}$$

$$A = 5 \times 5 \text{ cm}$$

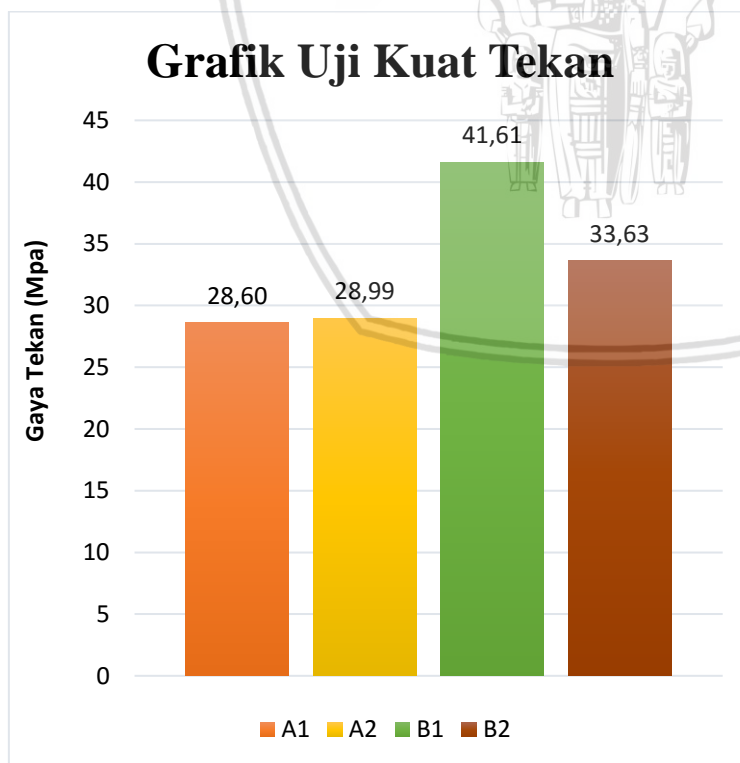
$$= 25 \text{ cm}^2$$

$$= 2500 \text{ mm}^2$$

Ditanya :  $f'_c$  ?

Jawab :

$$\begin{aligned} f'_c &= \frac{P_{max}}{A} \\ &= \frac{63500}{2500} \\ &= 25,40 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Gambar 4.2. Grafik hasil uji kuat tekan mortar

#### 4.7 Proses Perawatan (*curing*)

Proses perawatan atau *curing* benda uji silinder dan kolom ini dilakukan dengan diselimuti karung goni basah yang tiap hari dibasahi terus menerus dengan air selama 28 hari. Proses perawatan atau *curing* ini bertujuan untuk menghindari rangkai dan susut pada benda uji.

#### 4.8 Pengujian Kuat Beban Aksial Kolom

Pada penelitian kali ini dibuat sebanyak masing-masing 12 sampel baik itu untuk kolom asli maupun kolom retrofit. Kolom asli memiliki dimensi 12 x 12 x 30 cm dan kolom retrofit memiliki dimensi 18 x 18 x 25 cm.

Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian tekan terhadap kolom asli dan kolom retrofit. Perbedaannya, untuk kolom asli dilakukan pengujian sampai mencapai beban puncak (*peak load*) sedangkan kolom retrofit dilakukan pengujian sampai hancur. Tujuan dari pengujian kuat beban aksial kolom atau kuat beban aksial aktual ( $P_u$ ) ini nantinya akan dibandingkan dengan kuat beban aksial kolom retrofit.

Berikut ini merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung kuat beban aksial kolom ( $P_n$ ) :

Rumus kuat beban aksial kolom asli :

$$P_{n(max)} = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$$

Rumus kuat beban aksial kolom retrofit :

$$P_{n(max)} = f''_c \times A_g$$

$$f''_c = K f'_c$$

$$K = 1 + \frac{\rho_s f_{yh}}{f'_c}$$

Dimana :

$P_n$  = kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan (kN)

$A_g$  = luas penampang bruto beton (mm<sup>2</sup>)

$f''_c$  = Tegangan Maksimum Beton (MPa)

$f'_c$  = kuat tekan beton (MPa)

$f_{yh}$  = tegangan leleh dari tulangan transversal (MPa)

$\rho_s$  = Rasio tulangan trasversal

Berikut hasil gaya tekan dari masing-masing benda uji kolom asli dan kolom retrofit:

Tabel 4.9.

Hasil kuat beban aksial kolom asli

NO	Kode Benda Uji	Umur	Slump	Berat Kolom	Kuat Tekan Beton (fc')	Kuat Tekan Kolom Asli Maksimum Teoritis	Kuat Tekan Kolom Asli Maksimum Aktual	Rata-Rata Kuat Tekan Maksimum Aktual
		(Hari)	(cm)	(kg)	(Mpa)	(kN)	(kN)	(kN)
1	A1 (1)			10,45			204,80	
2	A1 A1 (2)		12	10,90	15,02	212,39	242,10	241,63
3	A1 (3)			11,00			278,00	
4	A2 (1)		12	10,75	15,02	212,39	220,30	241,55
5	A2 (2)			10,85			262,80	
6	B1 (1)	28		11			253,00	
7	B1 (2)		13	10,9	13,55	194,48	222,30	232,47
8	B1 (3)			10,85			222,10	
9	B2 (1)			10,9			226,40	
10	B2 (2)		13	10,85	13,55	194,48	250,70	234,33
11	B2 (3)			10,9			225,90	

Tabel 4.10.

Hasil kuat beban aksial rata-rata kolom asli

NO	Kode Benda Uji Kolom Retrofit	Gaya Tekan Beton (fc')	Kekuatan Nominal Kolom (Pn) Secara Teoritis	Kekuatan Maksimum Kolom (Pu) Secara Aktual
		(Mpa)	kN	kN
1	A1	15,02	212,39	239,77
2	A2	15,02	212,39	240,59
3	B1	13,55	194,48	225,41
4	B2	13,55	194,48	227,87

Untuk tabel hasil kuat beban aksial rata-rata kolom asli didapatkan dari rata – rata data kuat beban aksial per sampel kolom asli dengan asumsi pembacaan defleksi per sampel kolom asli harus senilai.

Berikut contoh perhitungan kuat beban aksial nominal kolom asli ( $P_n \max$ ) (Kolom A.1) :

Diketahui :

$$f'_c = 15,02 \text{ MPa}$$

$$A_g = 120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} = 14400 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = \frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 = 78.54 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 375,61 \text{ MPa}$$

Ditanya :  $P_n \max$  ?

Jawab :

$$P_{n(max)} = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}$$

$$P_{n(max)} = 0.85 \times 15,02 (14400 - 78.54) + 375,61 \times 78.54$$

$$P_{n(max)} = 212390 \text{ N} = 212,39 \text{ kN}$$

Tabel 4.11.

Hasil kuat beban aksial kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji	Umur (Hari)	Berat Kolom (kg)	Kuat Tekan Beton ( $f'_c$ ) (Mpa)	Kuat Tekan Kolom Retrofit Maksimum Teoritis (kN)	Kuat Tekan Kolom Retrofit Maksimum Aktual (kN)	Rata-Rata Kuat Tekan Maksimum Aktual (kN)
1	A1 (1)	28	20,30	28,60	448,04	345,30	370,20
2	A1 (2)		20,40			370,70	
3	A1 (3)		20,40			394,60	
4	A2 (1)		20,65	28,99	429,92	359,30	350,70
5	A2 (2)		20,75			342,10	
6	B1 (1)		20,50			343,10	
7	B1 (2)		20,60	41,61	568,48	338,80	338,43
8	B1 (3)		20,60			333,40	
9	B2 (1)		20,35			333,80	
10	B2 (2)		20,15	33,63	474,19	333,40	326,63
11	B2 (3)		20,25			312,70	

Tabel 4.12.

Hasil kuat beban aksial rata-rata kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom Retrofit	Gaya Tekan Beton ( $f_c'$ )	Kekuatan Nominal Kolom ( $P_n$ ) Secara Teoritis	Kekuatan Maksimum Kolom ( $P_u$ ) Secara Aktual
		(Mpa)	kN	kN
1	A1	28,60	448,0410	367,39
2	A2	28,99	429,92	350,29
3	B1	41,61	568,48	333,42
4	B2	33,63	474,19	324,72

Untuk tabel hasil kuat beban aksial rata-rata kolom retrofit didapatkan dari rata – rata data kuat beban aksial per sampel kolom retrofit dengan asumsi pembacaan defleksi per sampel kolom asli harus senilai.

Berikut ini adalah contoh perhitungan kuat beban aksial nominal kolom ( $P_n$  max) retrofit (Kolom A.1):

Diket :

$$\begin{aligned}
 f'_c \text{ kolom asli} &= 15,02 \text{ MPa} \\
 f'_c \text{ kolom retrofit} &= 28,60 \text{ MPa} \\
 f_{yh} \text{ baja} &= 506,94 \text{ MPa} \\
 f_{yh} \text{ bambu} &= 140 \text{ MPa} \\
 A_g \text{ kolom asli} &= 120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} = 14400 \text{ mm}^2 \\
 A_g \text{ kolom retrofit} &= 180 \text{ mm} \times 180 \text{ mm} = 32400 \text{ mm}^2 \\
 A \text{ sengkang bambu} &= 10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} = 100 \text{ mm}^2 \\
 A \text{ bambu} &= 10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} = 100 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dit :  $P_n$  (max) ?

Jawab :

$$\rho_s \text{ baja} = \frac{A_{st}}{b.h} = \frac{\left(\frac{1}{4} \times \pi \times 6^2\right) \times (94 \times 4)}{100 \times 100 \times 150} = 0,0071$$

$$\rho_s \text{ bambu} = \frac{A_{st}}{b.h} = \frac{(10 \times 10) \times (150 \times 4)}{((160 \times 160) - (120 \times 20)) \times 700} = 0,0765$$



$$K = 1 + \frac{\rho_s f_{yh}}{f'_c}$$

$$K = 1 + \frac{\left( \left[ \frac{\rho_s f_{yh}}{f'_c} \right]_{asli} + \left[ \frac{\rho_s f_{yh}}{f'_c} \right]_{retrofit} \right)}{2}$$

$$K = 1 + \frac{\left( \left[ \frac{0,0071 \times 506,94}{15,02} \right]_{asli} + \left[ \frac{0,0765 \times 140}{28,60} \right]_{retrofit} \right)}{2}$$

$$K = 1,4265$$

$$f''_c = K \frac{(f'_c \text{ beton} + f'_c \text{ mortar})}{2}$$

$$f''_c = 1,4265 \times \frac{15,02 + 28,60}{2}$$

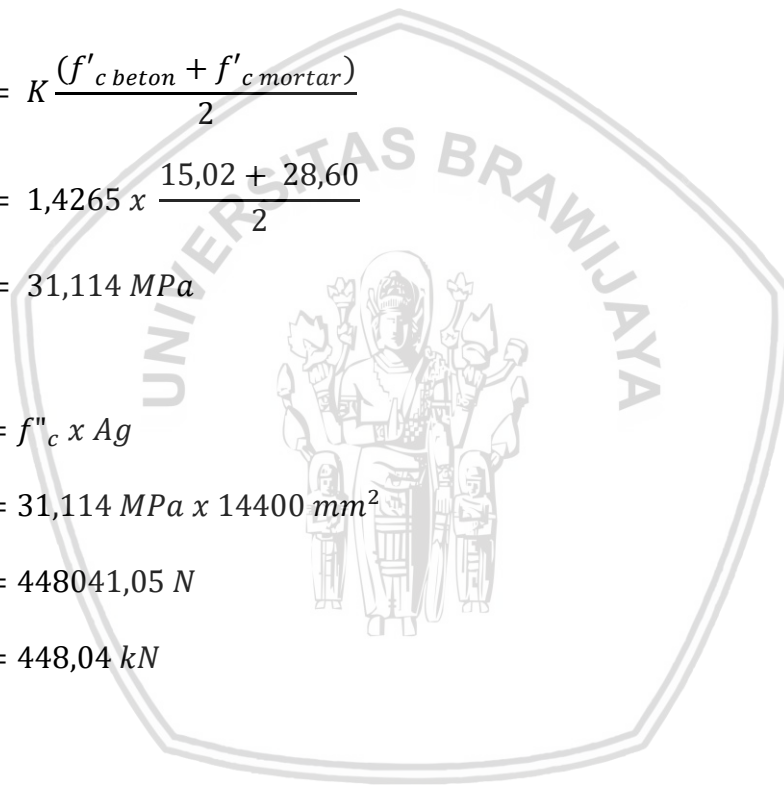
$$f''_c = 31,114 \text{ MPa}$$

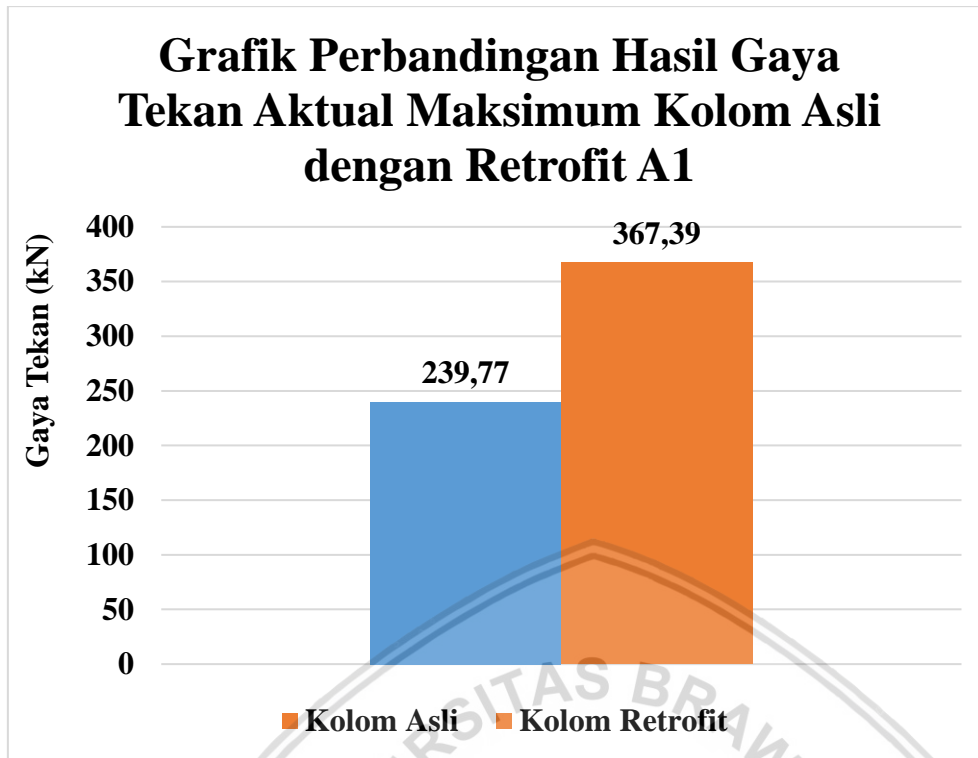
$$P_{n(max)} = f''_c \times A_g$$

$$P_{n(max)} = 31,114 \text{ MPa} \times 14400 \text{ mm}^2$$

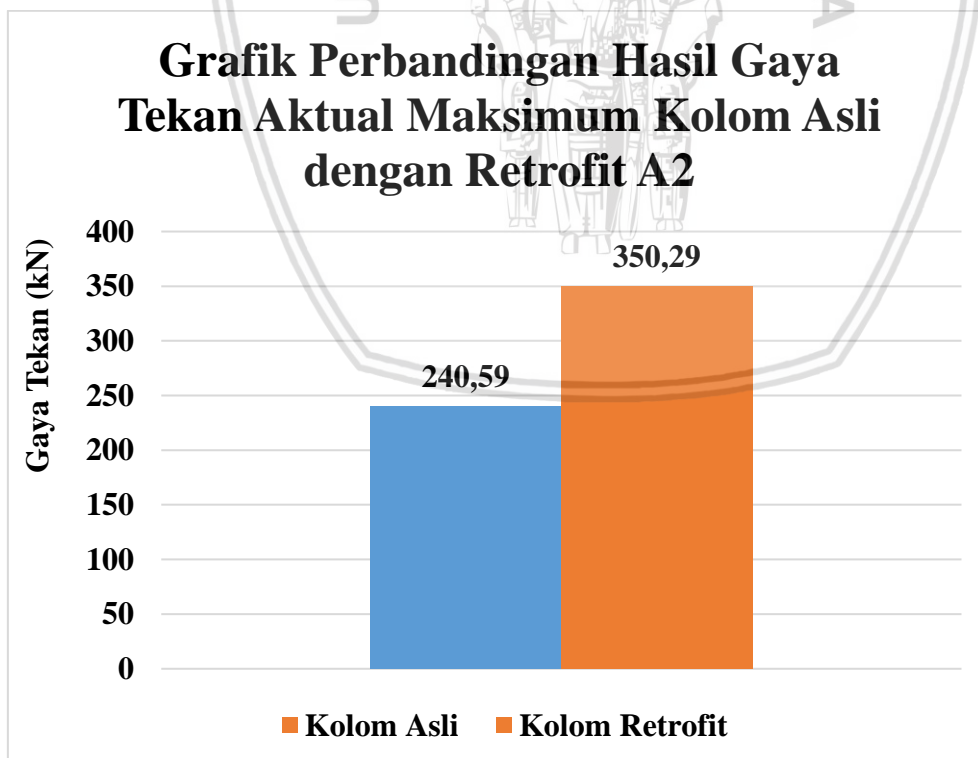
$$P_{n(max)} = 448041,05 \text{ N}$$

$$P_{n(max)} = 448,04 \text{ kN}$$

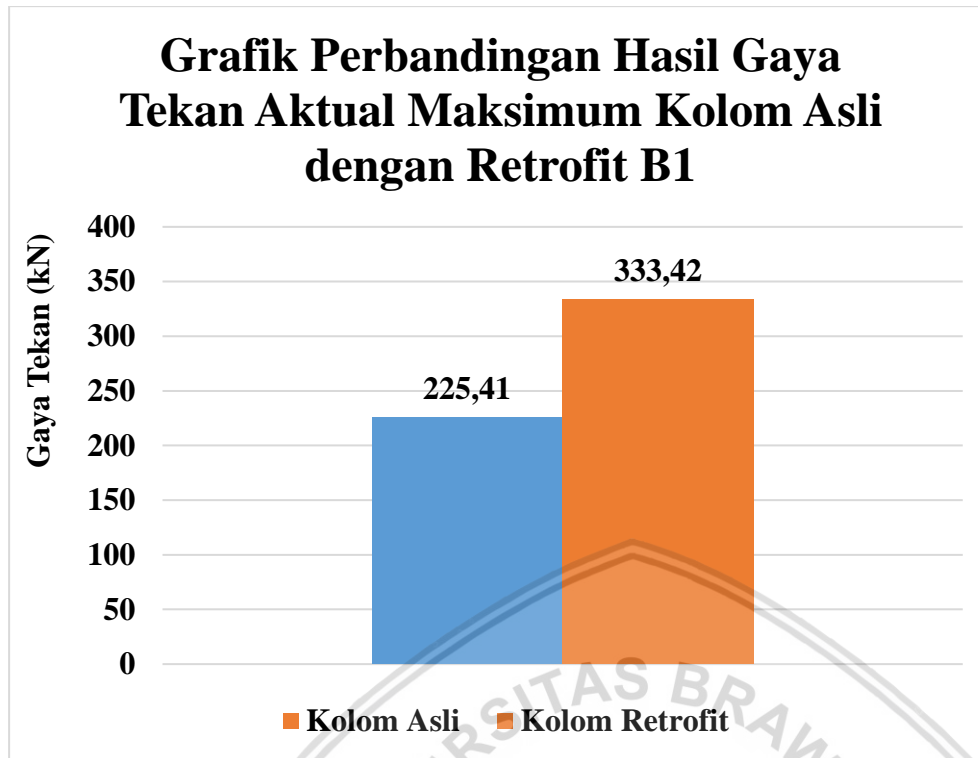




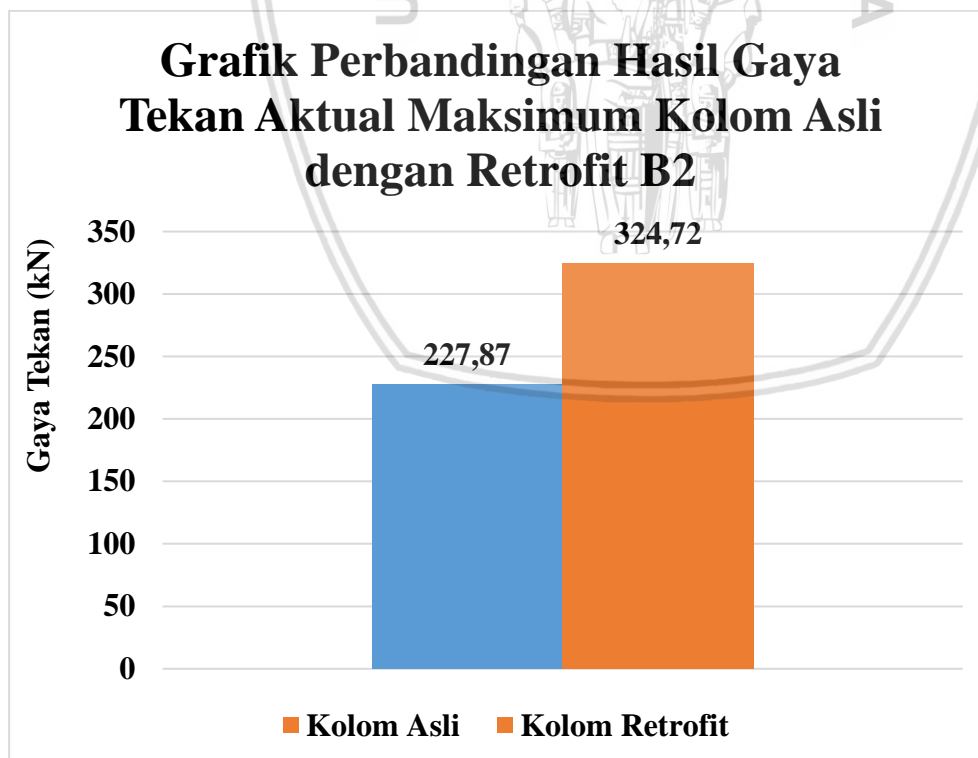
Gambar 4.3. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli A1 dengan kolom retrofit A1



Gambar 4.4. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli A2 dengan kolom retrofit A2



Gambar 4.5. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli B1 dengan kolom retrofit B1



Gambar 4.6. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli B2 dengan kolom retrofit B2

Dari penelitian ini didapatkan hasil kuat beban aksial kolom asli dengan kolom retrofit, untuk hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom asli A.1 sebesar 239,77 kN sedangkan hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom retrofit A.1 sebesar 367,39 kN, jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan pada kuat beban aksial kolom retrofit A.1 sebesar 53,23% dari kuat beban aksial maksimum kolom asli A.1. Untuk hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom asli A.2 sebesar 240,59 kN sedangkan hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom retrofit A.2 sebesar 350,29 kN, jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan pada kuat beban aksial kolom retrofit A.2 sebesar 45,59 % dari kuat beban aksial maksimum kolom asli A.2. Untuk hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom asli B.1 sebesar 225,41 kN sedangkan hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom retrofit B.1 sebesar 333,42 kN, jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan pada kuat beban aksial kolom retrofit B.1 sebesar 47,92 % dari kuat beban aksial maksimum kolom asli B.1. Untuk hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom asli B.2 sebesar 227,87 kN sedangkan hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom retrofit B.2 sebesar 324,72 kN, jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan pada kuat beban aksial kolom retrofit B.2 sebesar 42,504 % dari kuat beban aksial maksimum kolom asli B.2.

## 4.9 Pembahasan

### 4.9.1 Hubungan Gaya Tekan dan Defleksi Kolom Asli dengan Kolom Retrofit

Hasil gaya tekan dan defleksi yang diperoleh dari pengujian kolom asli dan kolom retrofit bisa ditindak lanjuti untuk mengetahui nilai kekakuan dari suatu benda. Nilai kekakuan itu sendiri adalah nilai kemiringan dari suatu hubungan antara beban dan defleksi. Dimana nilai kekakuan ini dapat dijadikan sebuah parameter agar sebuah struktur tidak terjadi deformasi yang berlebihan.

Berikut rumus untuk mencari nilai kekakuan :

$$k = \frac{P}{\Delta}$$

Dimana :

k = Kekakuan Struktur (kN/mm)

P = Gaya Tekan (kN)

$\Delta$  = Defleksi (mm)

Untuk analisis mencari nilai kekakuan kolom asli dan kolom retrofit memakai metode yang dilakukan oleh Park (1988) yakni, untuk nilai gaya tekan beton bertulang diambil dari 75 % dari nilai gaya tekan maksimum dan nilai defleksi diambil pada saat 75 % dari nilai gaya tekan maksimum tersebut.

Tabel 4.13.

Tabel data gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)		75% Gaya Tekan Maksimum (kN)		Defleksi (mm)		Kekakuan (kN/mm)		
		Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	
1	A1	A.1.1	204,80	345,30	153,60	258,98	1,35	1,27	113,43	204,31
2		A.1.2	242,10	370,70	181,58	278,03	1,37	1,54	132,36	180,51
3		A.1.3	278,00	394,60	208,50	295,95	1,46	1,84	142,53	161,00
4	A2	A.2.1	220,30	359,30	165,23	269,48	1,37	1,80	120,68	149,50
6		A.2.2	262,80	342,10	197,10	256,58	1,31	1,78	150,74	143,78
7	B1	B.1.1	253,00	343,10	189,75	257,33	1,12	1,55	169,35	165,75
8		B.1.2	222,30	338,80	166,73	254,10	1,78	1,65	93,76	154,13
9		B.1.3	222,10	333,40	166,58	250,05	1,45	1,89	114,98	132,46
10	B2	B.2.1	226,40	333,80	169,80	250,35	1,90	1,83	89,15	136,46
11		B.2.2	250,70	333,40	188,03	250,05	1,59	1,97	118,00	126,70
12		B.2.3	225,90	312,70	169,43	234,53	1,38	2,00	122,62	117,03

Tabel 4.14.

Tabel data rata-rata gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)		75% Gaya Tekan Maksimum (kN)		Defleksi (mm)		Kekakuan (kN/mm)	
		Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit
1	A1	239,77	367,39	179,83	275,55	1,39	1,51	129,10	182,70
2	A2	228,82	350,29	171,62	262,72	1,35	1,79	127,98	146,47
3	B1	225,41	333,42	169,06	250,07	1,38	1,67	122,41	150,18
4	B2	227,87	324,72	170,90	243,54	1,57	1,93	108,98	126,10

Untuk tabel 4.14 didapatkan dari rata – rata data gaya tekan per sampel kolom asli dan kolom retrofit, bukan dari rata-rata aljabar dari setiap sampel. Karena nilai defleksi pada saat beban maksimum masing-masing kolom berbeda.

Contoh perhitungan kekakuan kolom ( $k$ ) (Kolom asli A.1.1) :

Diketahui :

$$P_{\max} = 204,8 \text{ kN}$$

$$75\% P_{\max} = 75 \% \times 204,8 = 153,6 \text{ kN}$$

$$\Delta 75\% P_{\max} = \frac{((1,4-1,3)(153,6-148,05))+(1,3(158,29-148,05))}{158,29-148,05} = 1,35 \text{ mm}$$

Ditanya :  $k$  ?

Jawab :

$$k = \frac{P}{\Delta}$$

$$k = \frac{153,6 \text{ kN}}{1,35 \text{ mm}}$$

$$k = 113,43 \text{ kN/mm}$$

#### 4.9.1.1 Kolom Asli A.1 – Kolom Retrofit A.1

Tabel 4.15.

Tabel gaya tekan dan defleksi kolom asli A.1

Defleksi	A.1.1	A.1.2	A.1.3	RATA-RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
0	0	0	0	0
0,1	13,00	17,08	12,10	14,06
0,2	24,00	28,28	23,16	25,14
0,3	35,22	37,40	32,89	35,17
0,4	45,67	46,65	41,06	44,46
0,5	54,53	57,20	50,10	53,94
0,6	65,43	67,71	60,70	64,62
0,7	76,50	78,80	72,20	75,83
0,8	88,15	91,80	84,90	88,28
0,9	102,98	103,80	104,62	103,80
1	114,23	122,65	122,01	119,63
1,1	128,17	137,53	142,63	136,11

Defleksi	A.1.1	A.1.2	A.1.3	RATA-RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
1,2	137,85	153,64	161,63	151,04
1,3	148,06	170,56	181,00	166,54
1,4	158,29	185,90	198,31	180,83
1,5	167,40	198,68	214,53	193,53
1,6	179,14	210,50	227,80	205,81
1,7	183,16	221,29	239,85	214,76
1,8	191,23	230,99	248,48	223,56
1,9	197,20	236,18	258,35	230,58
2	203,47	240,50	264,69	236,22
2,1	204,58	241,23	270,34	238,71
2,2	203,00	242,00	274,31	239,77

Tabel 4.16.

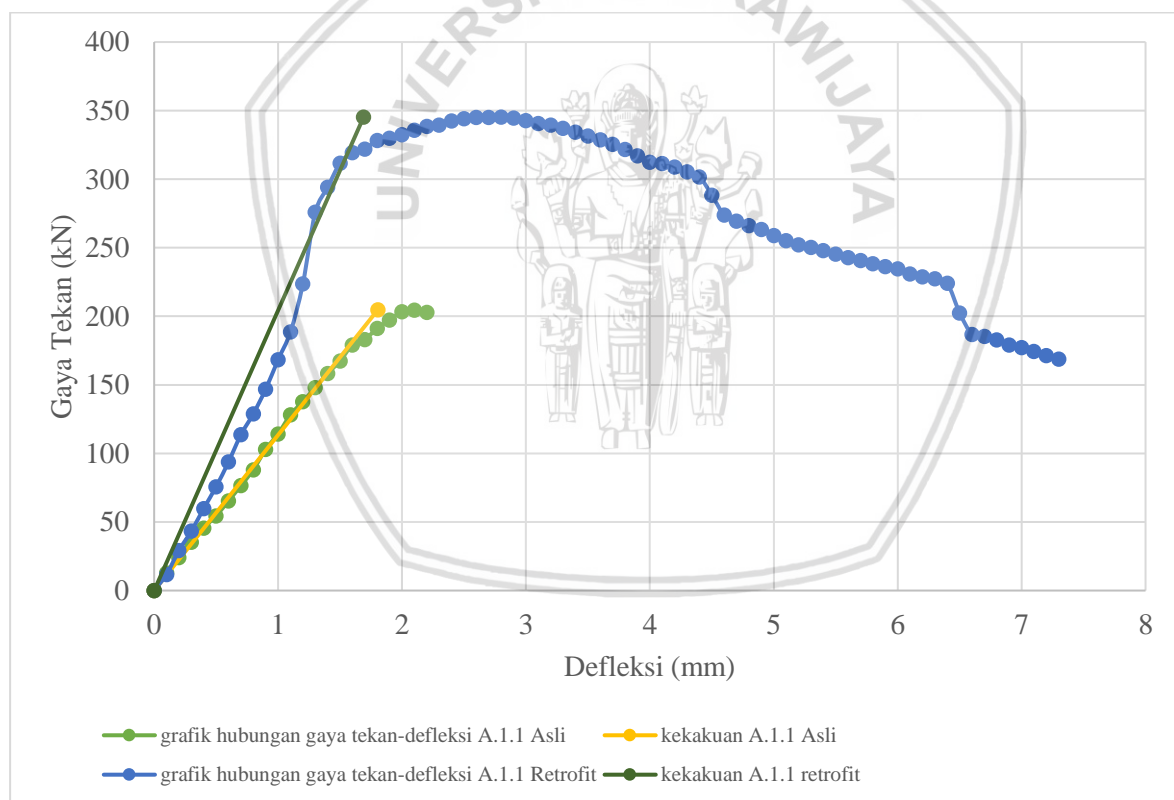
Tabel gaya tekan dan defleksi kolom retrofit A.1

Defleksi	A.1.1	A.1.2	A.1.3	RATA-RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
0	0	0	0	0
0,1	11,83	11,15	12,00	11,66
0,2	29,29	24,48	26,39	26,72
0,3	43,38	39,44	38,97	40,60
0,4	59,91	56,35	52,07	56,11
0,5	75,74	76,66	70,17	74,19
0,6	93,83	91,88	81,30	89,00
0,7	113,63	111,63	98,05	107,77
0,8	128,88	129,65	115,16	124,56
0,9	146,86	144,80	135,44	142,37
1	168,32	157,97	156,11	160,80
1,1	188,65	170,59	175,37	178,20
1,2	223,67	187,23	194,46	201,79
1,3	275,91	206,01	206,83	229,58
1,4	294,15	233,39	219,20	248,92
1,5	311,63	264,95	245,38	273,99
1,6	319,40	297,45	262,24	293,03
1,7	322,06	318,13	274,72	304,97
1,8	328,26	335,93	289,26	317,81
1,9	329,92	347,58	306,78	328,09
2	332,46	356,60	324,47	337,84
2,1	335,81	363,16	340,10	346,36

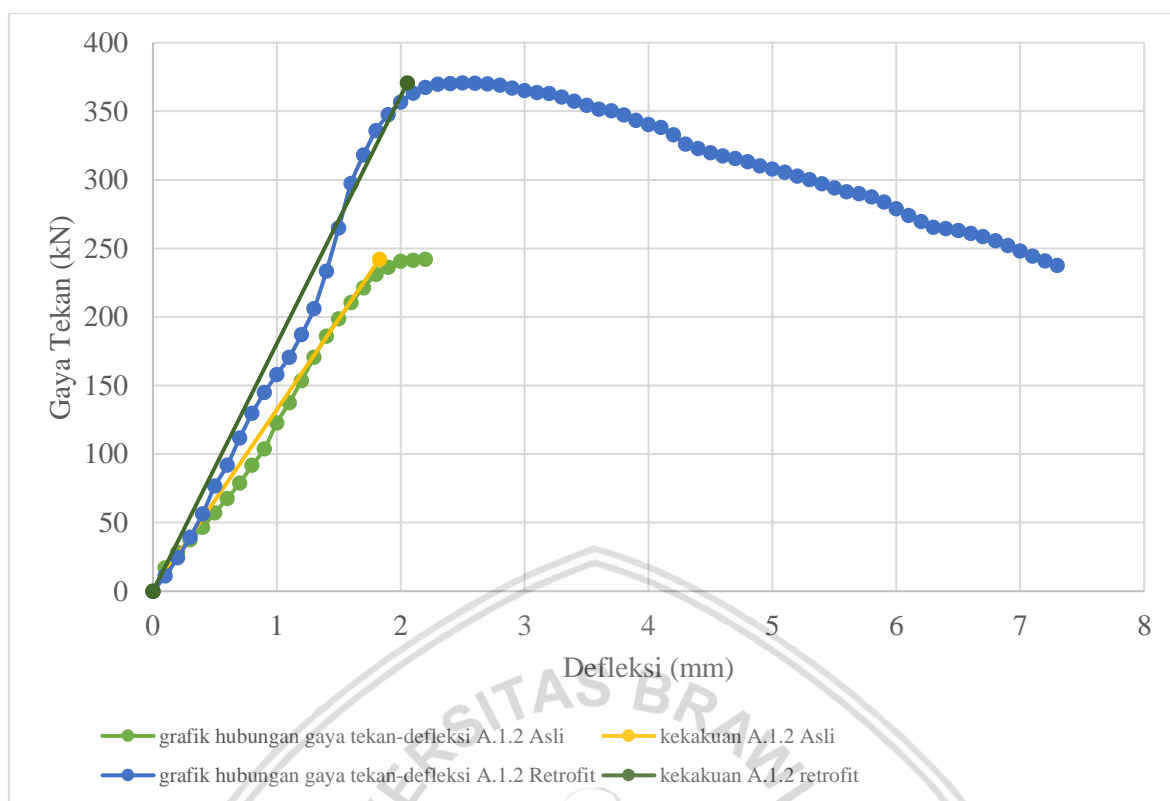


Defleksi	A.1.1	A.1.2	A.1.3	RATA-RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
2,2	338,67	367,26	354,10	353,34
2,3	339,45	369,69	360,48	356,54
2,4	342,49	370,27	366,20	359,65
2,5	344,25	370,59	371,97	362,27
2,6	344,98	370,44	378,42	364,61
2,7	345,14	369,87	382,75	365,92
2,8	345,29	369,00	387,43	367,24
2,9	344,65	366,92	390,61	367,39
3	342,65	365,06	392,32	366,68
3,1	340,55	363,75	394,39	366,23
3,2	339,48	362,95	394,24	365,56
3,3	337,11	360,41	393,84	363,79
3,4	334,41	357,37	393,28	361,68
3,5	331,56	354,31	391,78	359,22
3,6	328,68	351,57	390,28	356,84
3,7	325,53	350,26	388,50	354,76
3,8	321,64	347,31	386,21	351,72
3,9	317,18	343,42	383,93	348,18
4	312,45	340,31	380,70	344,49
4,1	311,53	338,13	376,70	342,12
4,2	308,88	332,88	372,70	338,15
4,3	305,30	326,16	370,09	333,85
4,4	301,72	322,80	368,88	331,13
4,5	288,44	319,72	365,81	324,66
4,6	273,87	317,32	362,92	318,03
4,7	269,52	315,44	359,93	314,97
4,8	266,30	313,14	357,06	312,17
4,9	263,34	310,28	354,80	309,48
5	259,06	307,80	352,54	306,47
5,1	255,22	305,62	350,08	303,64
5,2	252,15	302,69	347,38	300,74
5,3	250,29	300,07	344,68	298,35
5,4	247,91	297,19	342,33	295,81
5,5	245,38	294,12	340,23	293,24
5,6	242,79	291,19	338,12	290,70
5,7	240,72	289,90	335,89	288,84
5,8	238,47	287,50	333,64	286,54
5,9	236,28	283,90	331,39	283,85
6	234,78	278,86	329,17	280,93
6,1	230,90	274,03	326,94	277,29
6,2	228,86	269,48	324,81	274,38

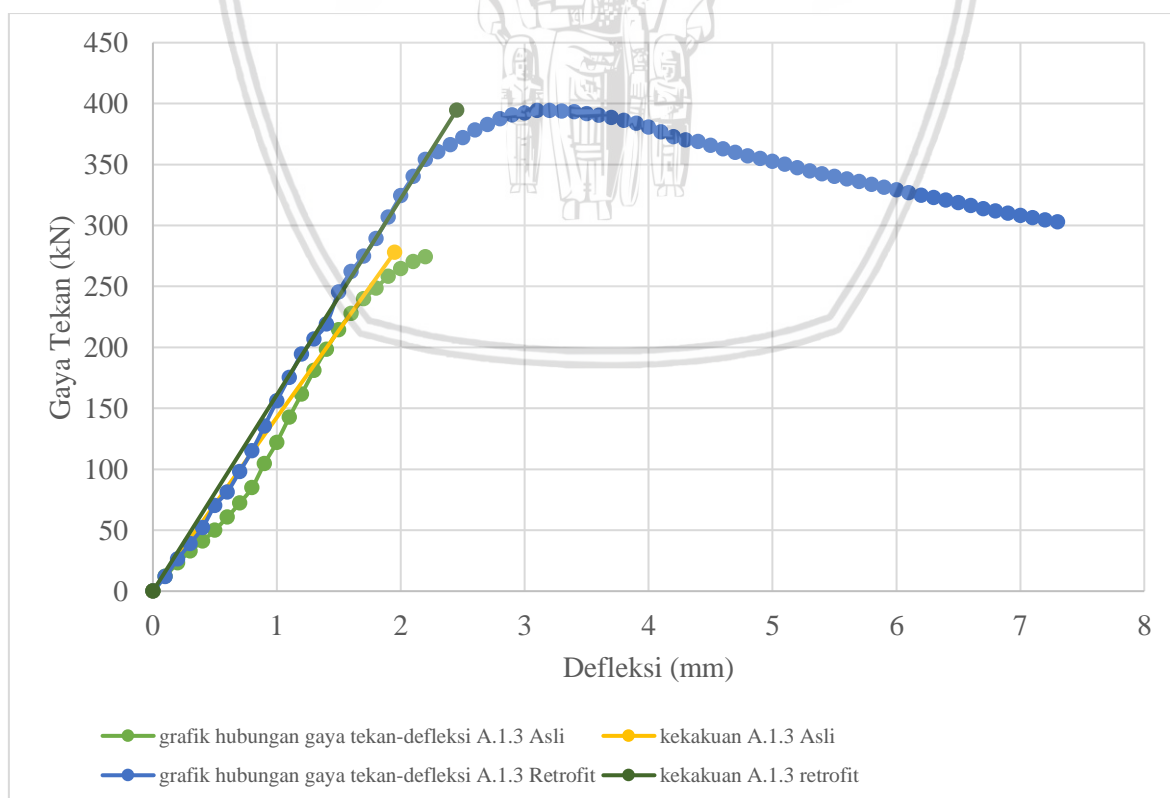
Defleksi	A.1.1	A.1.2	A.1.3	RATA- RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
6,3	227,46	265,41	322,85	271,91
6,4	224,10	264,47	320,88	269,82
6,5	202,44	263,06	318,67	261,39
6,6	186,91	260,91	316,20	254,68
6,7	185,44	258,49	313,74	252,55
6,8	182,81	255,51	311,72	250,01
6,9	179,19	252,06	309,90	247,05
7	177,12	248,20	308,07	244,46
7,1	174,40	244,33	306,31	241,68
7,2	171,44	240,81	304,55	238,93
7,3	168,80	237,62	302,80	236,41



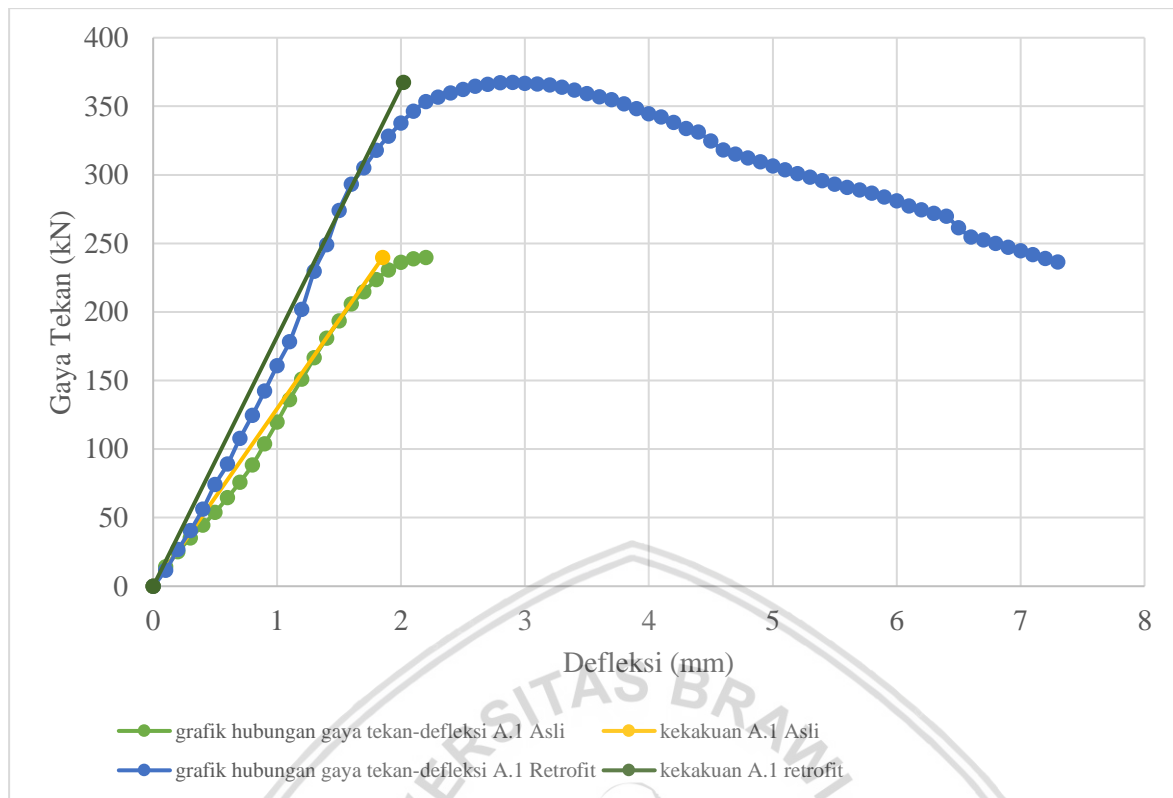
Gambar 4.7. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.1.1 dengan kolom retrofit A.1.1



Gambar 4.8. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.1.2 dengan kolom retrofit A.1.2



Gambar 4.9. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.1.3 dengan kolom retrofit A.1.3



Gambar 4.10. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.1 dengan kolom retrofit A.1

Dari data gaya tekan dan defleksi pada kolom asli A.1 dan kolom retrofit A.1 didapatkan dari rata – rata gabungan data gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit A.1.1, A.1.2 dan A.1.3. Dimana pengambilan nilai rata-rata gabungan diperoleh dari rata-rata gaya tekan pada satu defleksi yang sama. Dapat disimpulkan, pada kolom retrofit A.1 terjadi peningkatan batas runtuh dibandingkan dengan kolom asli A.1 dengan beban maksimum yang semula sebesar 239,77 kN menjadi 367,39 kN setelah di retrofit. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan beban runtuh sebesar 53,23 %.

Dari analisis gaya tekan dan defleksi nilai kekakuan dari masing-masing sampel bisa dihitung dengan cara yang telah dijelaskan sebelumnya. Diperoleh bahwa kolom asli A.1 memiliki nilai kekakuan sebesar 129,10 kN/mm, dan kolom retrofit A.1 memiliki nilai kekakuan 182,70 kN/mm. Hal ini menunjukkan bahwa kolom retrofit A.1 lebih kaku jika dibandingkan kolom asli A.1, dimana kekakuan mengalami peningkatan sebesar 41,52 %.

#### 4.9.1.2 Kolom Asli A.2 – Kolom Retrofit A.2

Tabel 4.17.

Tabel gaya tekan dan defleksi kolom asli A.2

Defleksi	A.2.1	A.2.2	RATA-RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN
0	0	0	0
0,1	11,80	12,40	12,10
0,2	20,06	21,51	20,79
0,3	30,06	31,89	30,97
0,4	40,85	42,45	41,65
0,5	52,85	53,00	52,93
0,6	61,68	66,40	64,04
0,7	71,60	84,53	78,06
0,8	84,87	100,23	92,55
0,9	96,40	118,89	107,64
1	109,50	137,43	123,46
1,1	122,49	155,91	139,20
1,2	137,79	176,56	157,17
1,3	153,65	195,80	174,73
1,4	170,40	213,01	191,71
1,5	186,11	229,16	207,64
1,6	198,87	242,30	220,59
1,7	207,73	249,75	228,74
1,8	217,04	256,70	236,87
1,9	220,30	260,89	240,59

Tabel 4.18.

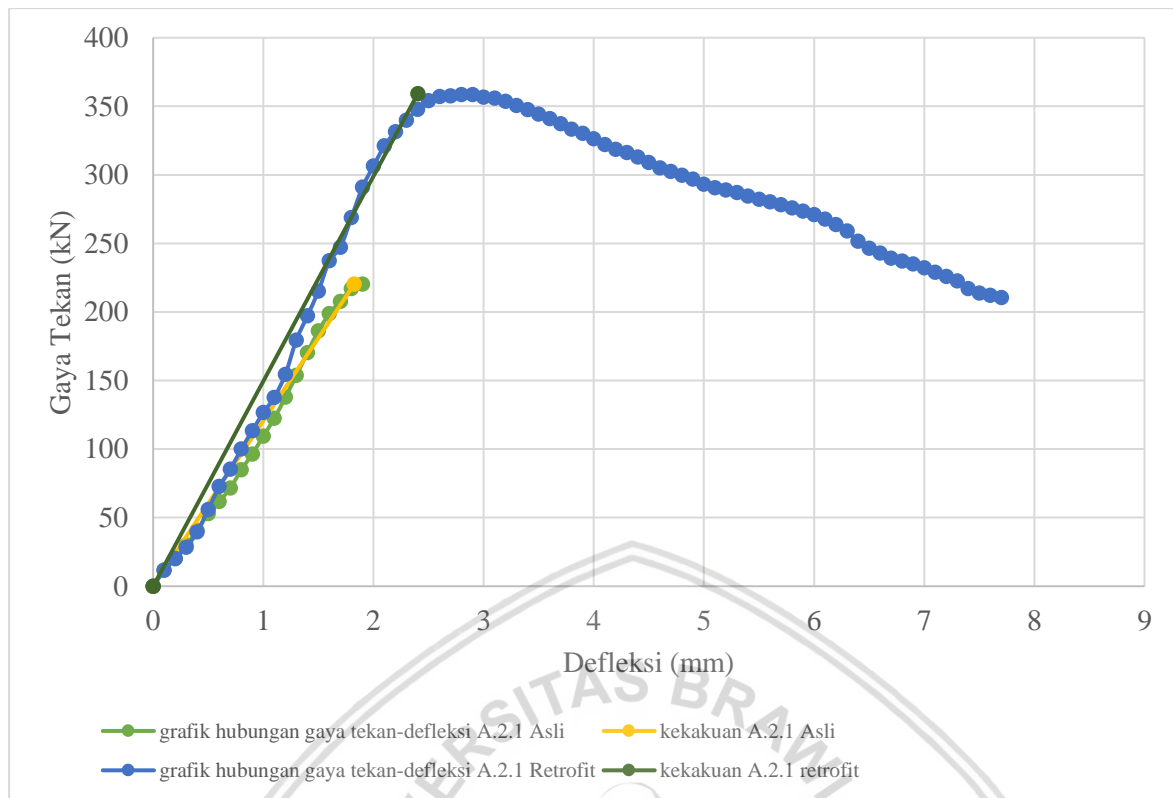
Tabel gaya tekan dan defleksi kolom retrofit A.2

Defleksi	A.2.1	A.2.2	RATA-RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN
0	0	0	0
0,1	11,50	11,85	11,67
0,2	20,30	21,59	20,95
0,3	28,43	33,03	30,73
0,4	39,50	48,25	43,88
0,5	56,00	63,00	59,50
0,6	72,70	75,78	74,24
0,7	85,29	88,44	86,87
0,8	100,00	100,54	100,27

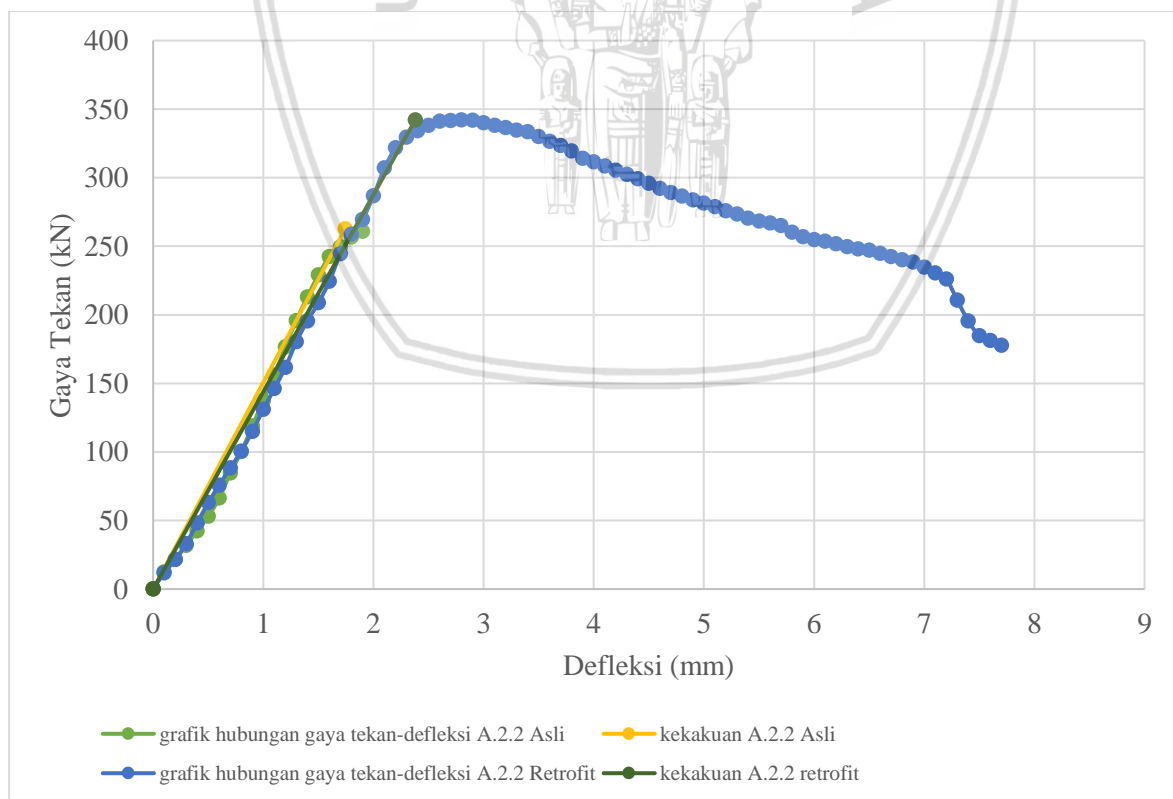
Defleksi	A.2.1	A.2.2	RATA-RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN
0,9	113,38	115,00	114,19
1	126,62	131,00	128,81
1,1	137,76	146,24	142,00
1,2	154,54	161,58	158,06
1,3	179,51	180,36	179,93
1,4	197,18	195,59	196,38
1,5	215,27	208,73	212,00
1,6	237,35	224,51	230,93
1,7	247,24	244,47	245,86
1,8	268,92	258,80	263,86
1,9	290,92	269,40	280,16
2	306,43	286,83	296,63
2,1	321,26	306,98	314,12
2,2	331,42	321,82	326,62
2,3	339,84	329,42	334,63
2,4	347,67	334,23	340,95
2,5	354,00	338,23	346,12
2,6	357,00	341,20	349,10
2,7	357,46	341,73	349,60
2,8	358,52	342,07	350,29
2,9	358,50	341,80	350,15
3	356,64	339,93	348,29
3,1	356,05	338,11	347,08
3,2	353,64	336,60	345,12
3,3	350,62	334,70	342,66
3,4	347,55	333,40	340,47
3,5	344,27	330,01	337,14
3,6	341,00	326,53	333,76
3,7	337,26	323,33	330,29
3,8	333,19	319,43	326,31
3,9	330,16	314,01	322,08
4	326,17	311,43	318,80
4,1	322,17	308,37	315,27
4,2	318,47	305,38	311,93
4,3	316,19	302,28	309,24
4,4	312,90	299,05	305,97
4,5	309,10	295,79	302,44
4,6	305,10	292,09	298,59
4,7	302,43	289,01	295,72
4,8	299,74	286,54	293,14
4,9	296,82	283,72	290,27

Defleksi	A.2.1	A.2.2	RATA-RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN
5	293,04	281,47	287,25
5,1	290,64	278,82	284,73
5,2	288,85	275,81	282,33
5,3	287,06	273,37	280,21
5,4	284,51	270,52	277,51
5,5	282,13	268,41	275,27
5,6	280,21	266,84	273,52
5,7	278,28	264,99	271,64
5,8	275,98	260,26	268,12
5,9	273,51	256,78	265,14
6	271,05	254,69	262,87
6,1	267,60	253,65	260,63
6,2	263,61	251,70	257,66
6,3	258,96	249,74	254,35
6,4	251,56	248,08	249,82
6,5	246,45	247,19	246,82
6,6	242,87	244,77	243,82
6,7	239,29	242,30	240,80
6,8	237,07	240,04	238,56
6,9	234,90	238,34	236,62
7	232,14	234,62	233,38
7,1	229,03	230,53	229,78
7,2	225,91	226,04	225,97
7,3	222,55	210,74	216,64
7,4	217,01	195,45	206,23
7,5	213,79	184,72	199,25
7,6	212,10	181,13	196,61
7,7	210,41	177,82	194,11

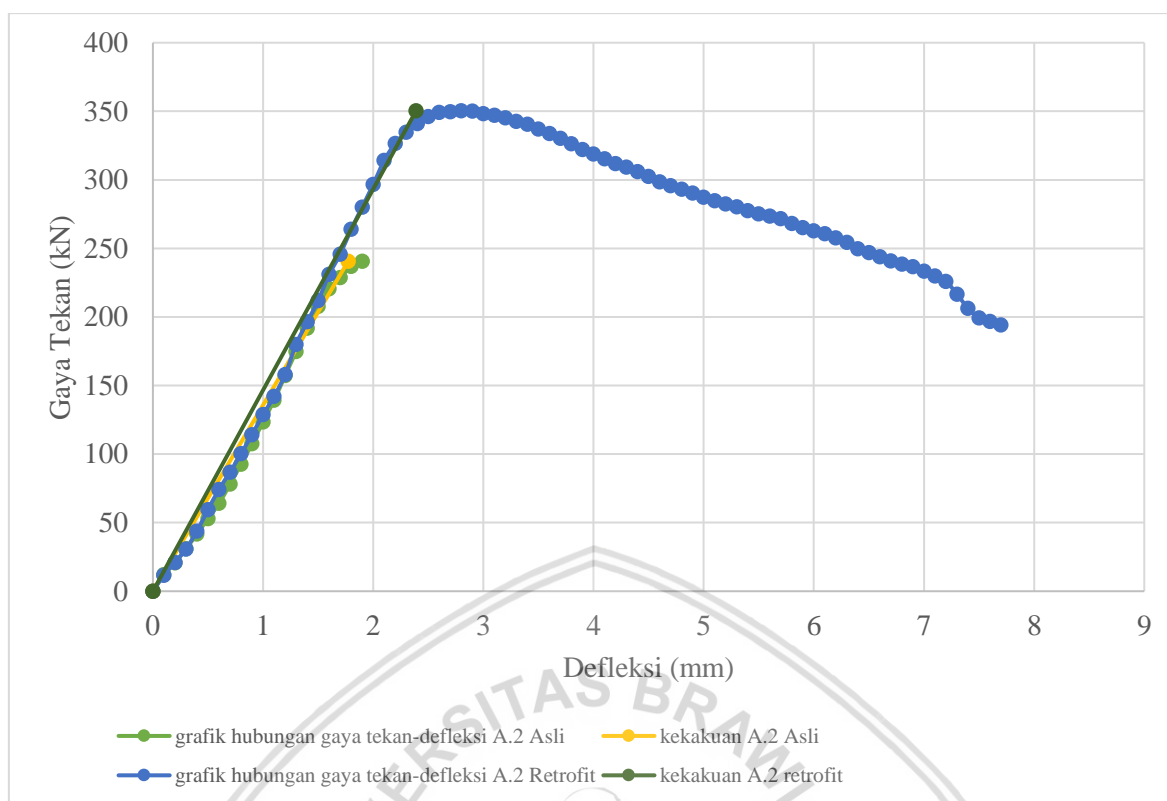




Gambar 4.11. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.2.1 dengan kolom retrofit A.2.1



Gambar 4.12. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.2.2 dengan kolom retrofit A.2.2



Gambar 4.13. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.2 dengan kolom retrofit A.2

Data gaya tekan dan defleksi pada kolom asli A.2 dan kolom retrofit A.2 didapatkan dari rata – rata gabungan data gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit A.2.1 dan A.2.3. Dimana pengambilan nilai rata-rata gabungan diperoleh dari rata-rata gaya tekan pada satu defleksi yang sama. Dapat disimpulkan, pada kolom retrofit A.2 terjadi peningkatan batas runtuh dibandingkan dengan kolom asli A.2 dengan beban maksimum yang semula sebesar 228,82 kN menjadi 350,29 kN setelah diretrofit. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan beban runtuh sebesar 45,59 %.

Dari analisis gaya tekan dan defleksi nilai kekakuan dari masing-masing sampel bisa dihitung dengan cara yang telah dijelaskan sebelumnya. Bahwa kolom asli A.2 memiliki nilai kekakuan sebesar 127,98 kN/mm, dan kolom retrofit A.2 memiliki nilai kekakuan 146,47 kN/mm. Hal ini menunjukkan bahwa kolom retrofit A.2 lebih kaku jika dibandingkan kolom asli A.2, dimana kekakuan mengalami peningkatan sebesar 14,45 %.

#### 4.9.1.3 Kolom Asli B.1 – Kolom Retrofit B.1

Tabel 4.19.

Tabel gaya tekan dan defleksi kolom asli B.1

Defleksi	B.1.1	B.1.2	B.1.3	RATA-RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
0	0	0	0	0
0,1	8,67	9,82	11,11	9,87
0,2	22,94	22,75	21,70	22,46
0,3	34,80	33,90	30,76	33,15
0,4	45,58	43,65	40,82	43,35
0,5	59,09	51,28	48,33	52,90
0,6	79,93	63,28	58,16	67,12
0,7	100,21	70,80	69,73	80,25
0,8	122,06	79,18	80,45	93,89
0,9	144,87	88,17	97,85	110,30
1	169,40	96,70	107,77	124,62
1,1	186,69	104,54	120,13	137,12
1,2	201,64	108,90	135,10	148,55
1,3	212,11	119,30	148,45	159,95
1,4	222,33	128,60	162,64	171,19
1,5	229,90	138,87	170,73	179,83
1,6	235,35	147,80	179,38	187,51
1,7	239,83	159,25	184,30	194,46
1,8	243,39	168,80	190,91	201,03
1,9	246,99	178,22	197,36	207,52
2	248,74	187,58	202,26	212,86
2,1	251,71	193,46	207,09	217,42
2,2	252,18	200,09	211,13	221,13
2,3	252,50	205,39	213,35	223,75
2,4	251,30	207,83	217,10	225,41

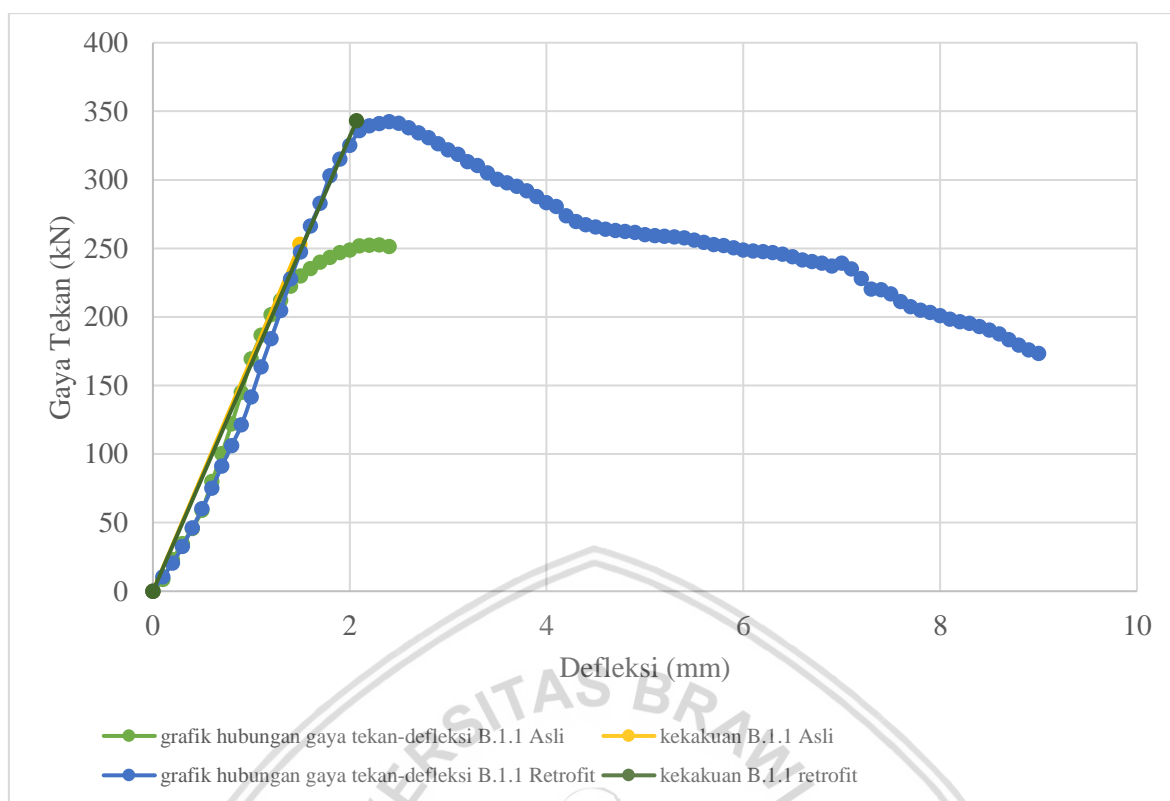
Tabel 4.20.

Tabel gaya tekan dan defleksi kolom retrofit B.1

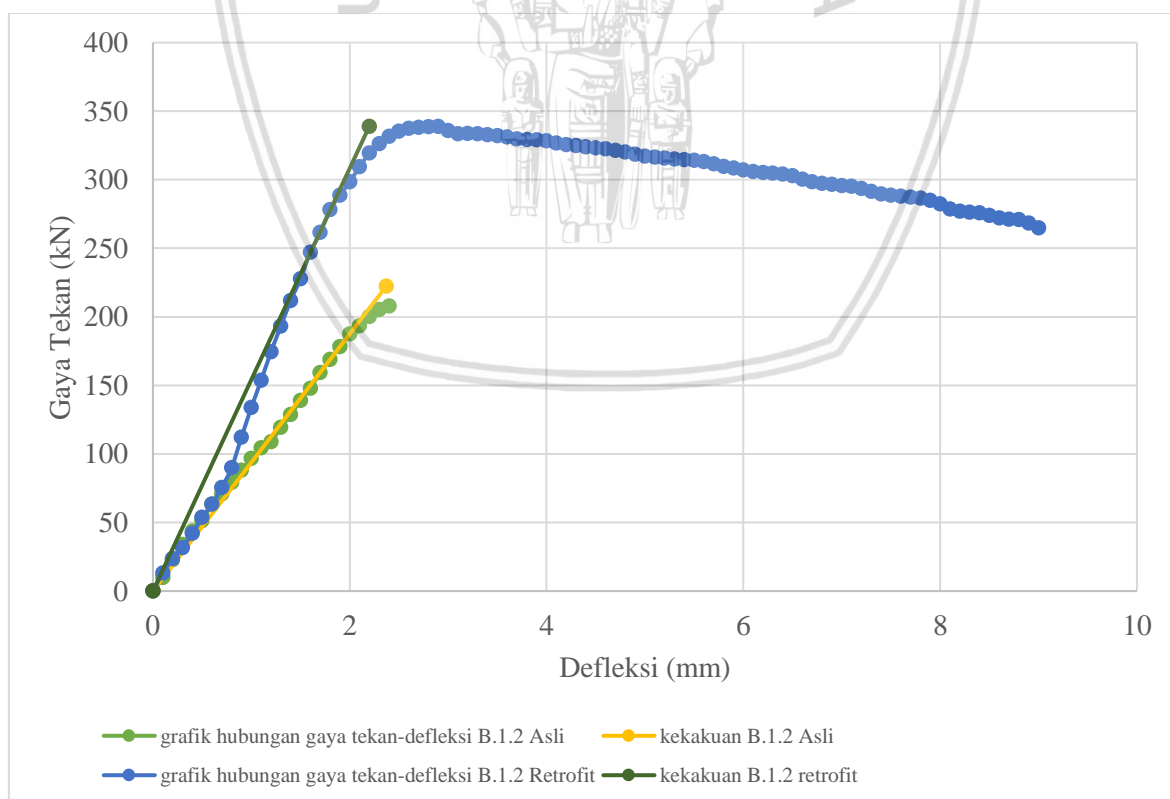
Defleksi	B.1.1	B.1.2	B.1.3	RATA-RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
0	0	0	0	0
0,1	10,42	13,04	9,23	10,90
0,2	20,50	23,73	19,54	21,26
0,3	32,62	31,70	30,00	31,44
0,4	46,15	42,13	40,09	42,79
0,5	60,04	53,68	50,97	54,90

Defleksi	B.1.1	B.1.2	B.1.3	RATA-RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
0,6	75,10	63,41	61,51	66,67
0,7	91,10	75,51	71,17	79,26
0,8	106,06	90,00	80,76	92,28
0,9	121,28	112,10	91,43	108,27
1	141,73	133,79	106,04	127,19
1,1	163,64	153,71	119,47	145,61
1,2	184,04	174,48	137,80	165,44
1,3	204,71	193,17	156,65	184,85
1,4	227,86	211,79	173,32	204,32
1,5	247,29	227,75	189,55	221,53
1,6	266,40	247,03	208,25	240,56
1,7	282,89	261,57	221,00	255,15
1,8	302,94	278,08	238,23	273,08
1,9	315,10	288,53	251,69	285,11
2	325,20	298,44	264,87	296,17
2,1	335,77	309,35	279,93	308,35
2,2	339,25	319,40	292,60	317,08
2,3	340,97	326,24	303,23	323,48
2,4	342,49	331,60	311,95	328,68
2,5	341,30	335,39	318,79	331,83
2,6	337,85	337,33	323,26	332,81
2,7	334,26	338,09	327,72	333,36
2,8	330,77	338,61	330,88	333,42
2,9	326,32	338,76	332,10	332,39
3	321,84	335,90	332,96	330,23
3,1	318,60	333,33	333,25	328,39
3,2	313,33	333,69	332,85	326,62
3,3	310,35	333,54	332,31	325,40
3,4	305,00	332,84	331,30	323,05
3,5	300,49	331,98	330,23	320,90
3,6	297,92	331,07	328,88	319,29
3,7	295,14	329,81	326,80	317,25
3,8	291,92	329,27	325,72	315,64
3,9	287,73	328,93	323,89	313,52
4	283,33	328,42	321,54	311,10
4,1	280,61	326,64	319,14	308,80
4,2	273,73	325,60	318,10	305,81
4,3	269,56	324,81	315,70	303,36
4,4	267,11	323,85	313,10	301,35
4,5	265,62	323,29	310,47	299,79
4,6	264,00	322,38	308,01	298,13
4,7	263,12	321,24	306,76	297,04
4,8	262,42	320,04	304,29	295,58

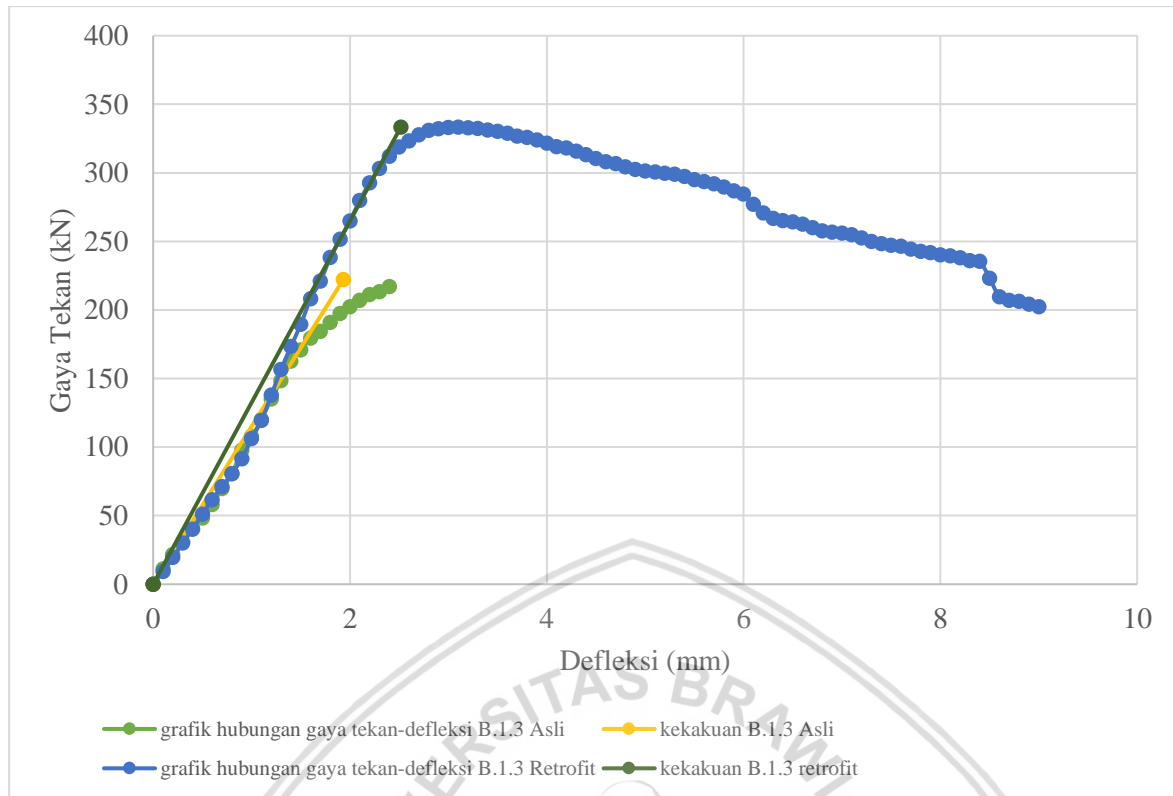
Defleksi	B.1.1	B.1.2	B.1.3	RATA-RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
4,9	261,62	318,43	302,46	294,17
5	260,00	317,10	301,35	292,82
5,1	259,25	316,36	300,70	292,11
5,2	258,79	315,62	299,74	291,39
5,3	258,31	315,04	298,91	290,75
5,4	257,72	314,55	297,24	289,84
5,5	256,12	314,12	294,90	288,38
5,6	254,33	313,19	293,54	287,02
5,7	252,73	311,56	291,86	285,38
5,8	252,07	309,66	289,54	283,75
5,9	250,35	308,44	286,75	281,85
6	248,76	307,06	284,52	280,11
6,1	248,07	305,90	277,03	277,00
6,2	247,53	305,18	270,75	274,49
6,3	246,90	304,81	266,70	272,80
6,4	245,76	304,13	265,05	271,65
6,5	243,88	302,77	264,23	270,29
6,6	241,50	300,40	262,60	268,17
6,7	240,36	298,48	260,04	266,29
6,8	239,15	297,29	257,66	264,70
6,9	237,00	296,49	256,78	263,42
7	239,15	295,64	256,08	263,62
7,1	235,06	295,06	254,89	261,67
7,2	227,96	293,62	252,44	258,01
7,3	220,36	291,51	249,93	253,93
7,4	219,73	289,58	248,23	252,51
7,5	216,90	288,56	247,25	250,91
7,6	211,21	287,90	246,51	248,54
7,7	207,42	287,33	244,39	246,38
7,8	204,97	286,49	242,76	244,74
7,9	203,23	284,80	241,76	243,27
8	200,96	282,24	240,19	241,13
8,1	198,43	278,53	239,41	238,79
8,2	196,50	276,93	238,15	237,20
8,3	195,26	276,25	235,88	235,80
8,4	192,89	275,86	235,45	234,73
8,5	190,32	273,86	223,21	229,13
8,6	187,50	272,13	209,44	223,03
8,7	183,50	271,17	206,93	220,53
8,8	179,39	270,87	206,22	218,83
8,9	175,99	268,34	204,30	216,21
9	173,27	264,82	202,26	213,45



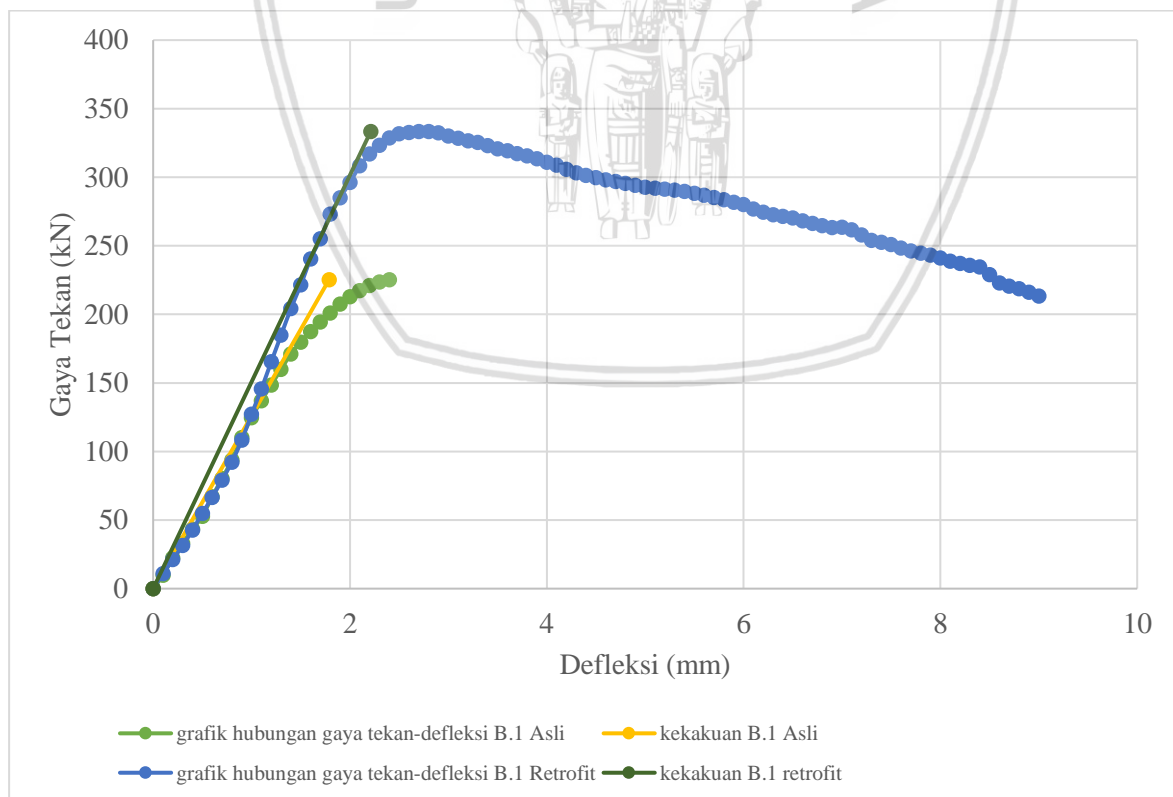
Gambar 4.14. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.1.1 dengan kolom retrofit B.1.1



Gambar 4.15. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.1.2 dengan kolom retrofit B.1.2



Gambar 4.16. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.1.3 dengan kolom retrofit B.1.3



Gambar 4.17. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.1 dengan kolom retrofit B.1



Data gaya tekan dan defleksi pada kolom asli B.1 dan kolom retrofit B.1 didapatkan dari rata – rata gabungan data gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit B.1.1, B.1.2 dan B.1.3. Dimana pengambilan nilai rata-rata gabungan diperoleh dari rata-rata gaya tekan pada satu defleksi yang sama. Dapat disimpulkan, pada kolom retrofit B.1 terjadi peningkatan batas runtuh kolom asli B.1 dengan beban maksimum yang semula sebesar 225,41 kN menjadi 333,42 kN setelah diretrofit. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan beban runtuh sebesar 47,92 %.

Dari analisis gaya tekan dan defleksi nilai kekakuan dari masing-masing sampel bisa dihitung dengan cara yang telah dijelaskan sebelumnya. Bahwa kolom asli B.1 memiliki nilai kekakuan sebesar 122,41 kN/mm, dan kolom retrofit B.1 memiliki nilai kekakuan 150,18 kN/mm. Hal ini menunjukkan bahwa kolom retrofit B.1 lebih kaku jika dibandingkan kolom asli B.1, dimana kekakuan mengalami peningkatan sebesar 22,68 %.

#### 4.9.1.4 Kolom Asli B.2 – Kolom Retrofit B.2

Tabel 4.21.

Tabel gaya tekan dan defleksi kolom asli B.2

Defleksi	B.2.1	B.2.2	B.2.3	RATA-RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
0	0	0	0	0
0,1	10,88	12,40	10,00	11,09
0,2	18,21	24,56	22,73	21,83
0,3	26,91	35,70	34,80	32,47
0,4	35,61	45,02	44,84	41,82
0,5	44,31	53,81	53,45	50,52
0,6	53,01	66,26	61,16	60,14
0,7	61,71	78,83	77,42	72,66
0,8	70,41	92,53	82,56	81,83
0,9	79,12	105,55	94,53	93,06
1	87,82	119,53	110,74	106,03
1,1	96,52	131,47	130,33	119,44
1,2	105,22	148,10	145,85	133,06
1,3	112,87	156,29	158,40	142,52
1,4	121,86	166,97	171,90	153,58
1,5	130,88	176,93	182,11	163,31
1,6	143,26	188,80	191,26	174,44
1,7	155,23	201,20	198,80	185,08
1,8	161,82	213,31	204,17	193,10
1,9	169,33	223,10	211,38	201,27

Defleksi	B.2.1	B.2.2	B.2.3	RATA-RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
2	179,46	230,65	218,28	209,46
2,1	188,48	241,35	220,98	216,94
2,2	194,55	246,43	224,48	221,82
2,3	202,40	250,22	225,80	226,14
2,4	207,00	250,70	225,90	227,87

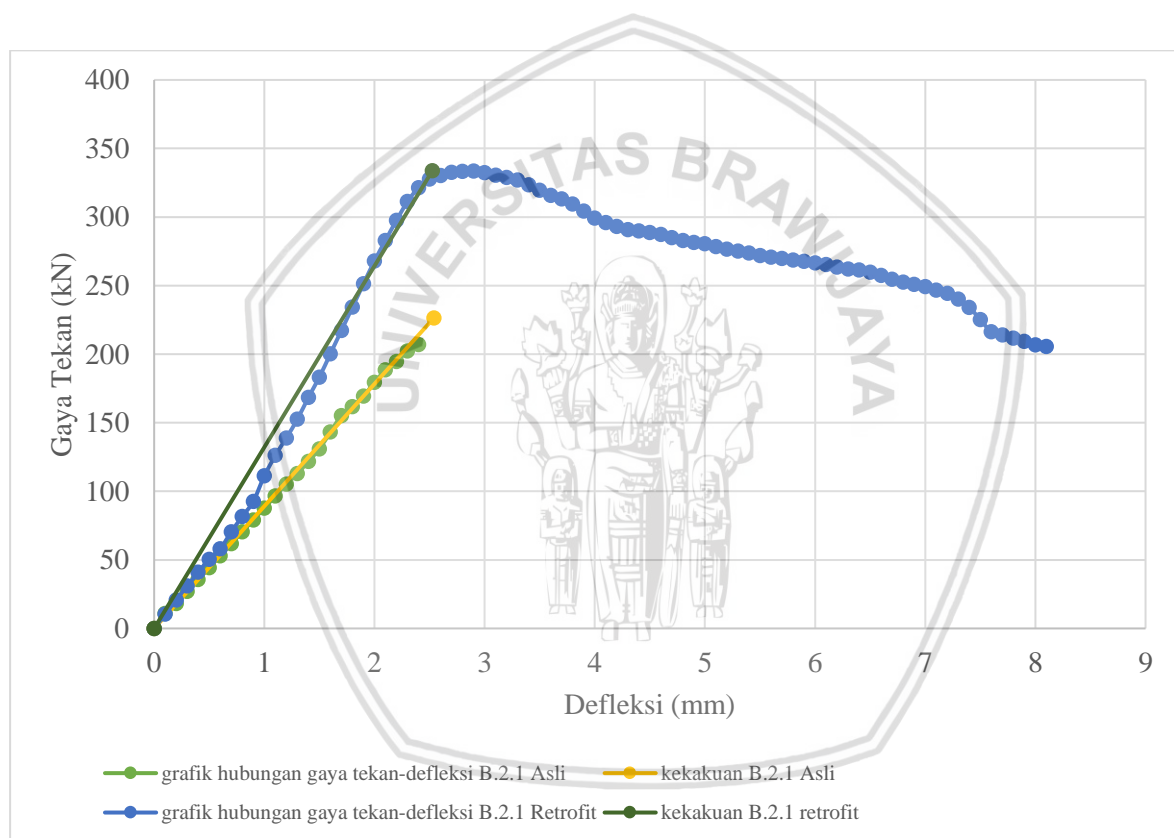
Tabel 4.22.

Tabel gaya tekan dan defleksi kolom retrofit B.2

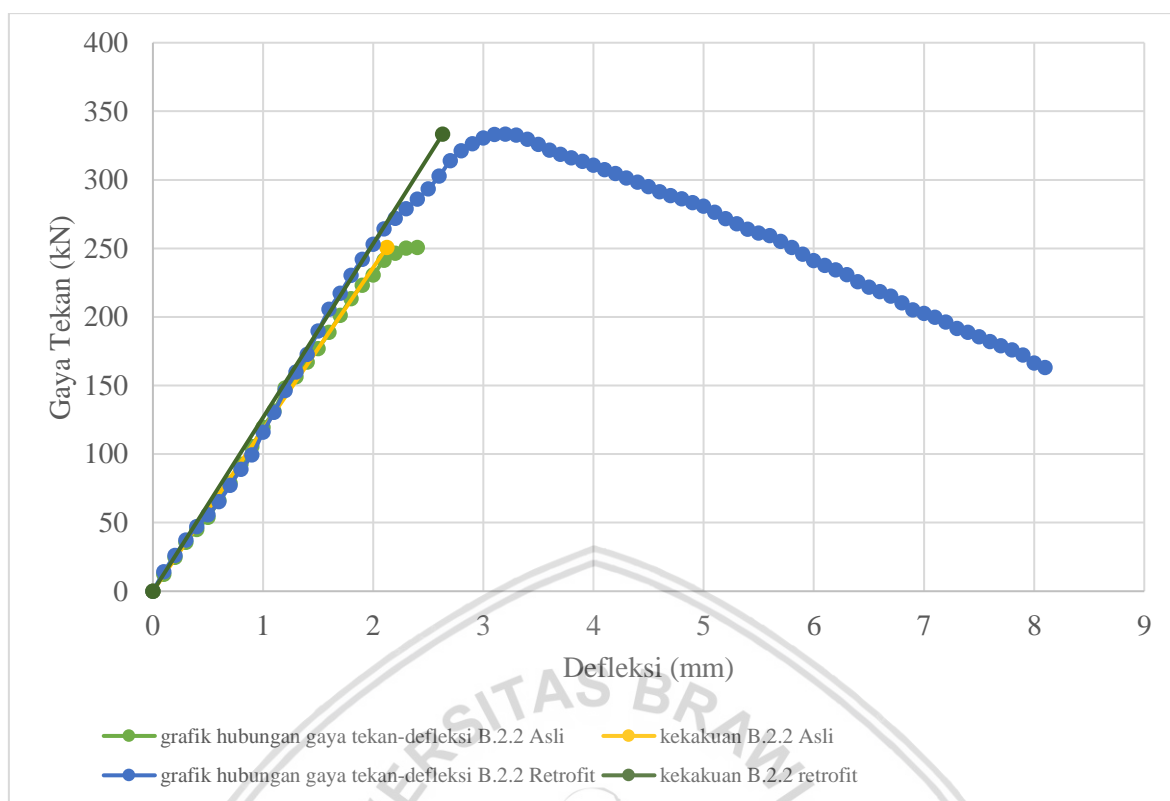
Defleksi	B.2.1	B.2.2	B.2.3	RATA-RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
0	0	0	0	0
0,1	10,40	14,18	14,07	12,88
0,2	20,80	26,17	24,50	23,82
0,3	31,00	37,38	33,05	33,81
0,4	40,93	47,11	42,90	43,65
0,5	50,45	55,64	48,10	51,40
0,6	57,97	65,21	55,88	59,69
0,7	70,45	77,12	63,96	70,51
0,8	81,63	88,92	73,16	81,24
0,9	92,64	99,29	87,30	93,08
1	111,20	115,90	99,21	108,77
1,1	126,12	130,40	111,13	122,55
1,2	138,95	146,30	123,77	136,34
1,3	152,53	159,79	139,10	150,47
1,4	168,43	172,57	156,24	165,75
1,5	183,31	189,69	169,67	180,89
1,6	200,35	205,58	186,91	197,61
1,7	217,32	217,33	194,99	209,88
1,8	234,25	230,31	216,80	227,12
1,9	251,29	241,97	226,32	239,86
2	267,90	252,96	234,02	251,63
2,1	282,99	264,13	246,45	264,52
2,2	297,65	271,89	257,68	275,74
2,3	311,28	279,00	265,17	285,15
2,4	321,50	286,00	273,86	293,79
2,5	327,75	293,46	281,68	300,96
2,6	330,32	302,71	286,23	306,42
2,7	332,69	314,01	296,85	314,51
2,8	333,30	321,09	301,60	318,66
2,9	333,61	326,30	304,66	321,52

Defleksi	B.2.1	B.2.2	B.2.3	RATA-RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
3	332,49	330,54	308,51	323,85
3,1	330,55	332,96	310,64	324,72
3,2	328,99	333,24	311,86	324,70
3,3	326,92	332,62	312,31	323,95
3,4	323,42	329,66	312,39	321,82
3,5	319,50	325,80	312,57	319,29
3,6	315,90	321,73	312,64	316,75
3,7	313,20	318,56	312,43	314,73
3,8	309,46	315,97	311,71	312,38
3,9	304,38	313,44	311,24	309,69
4	299,27	310,67	310,19	306,71
4,1	295,89	307,45	307,96	303,77
4,2	293,11	304,49	307,22	301,61
4,3	290,75	301,37	305,55	299,22
4,4	289,79	298,19	303,89	297,29
4,5	288,78	295,00	302,77	295,52
4,6	287,41	291,30	300,23	292,98
4,7	285,05	288,51	297,18	290,25
4,8	282,94	286,08	294,70	287,91
4,9	281,49	283,37	293,15	286,00
5	280,49	280,65	292,04	284,39
5,1	278,42	276,33	289,08	281,28
5,2	276,67	271,60	286,14	278,14
5,3	275,15	267,95	283,24	275,45
5,4	273,86	264,06	280,32	272,75
5,5	271,97	261,13	277,07	270,06
5,6	270,63	259,20	273,60	267,81
5,7	269,74	255,20	270,60	265,18
5,8	268,71	250,66	266,05	261,81
5,9	267,65	245,84	260,85	258,11
6	266,54	241,06	255,69	254,43
6,1	265,32	237,53	252,27	251,71
6,2	263,46	234,22	249,50	249,06
6,3	262,12	230,77	246,98	246,62
6,4	261,32	225,71	245,78	244,27
6,5	259,66	221,62	244,11	241,80
6,6	257,37	218,37	240,80	238,85
6,7	254,74	215,09	231,98	233,93
6,8	252,46	210,22	224,59	229,09
6,9	250,97	205,11	220,80	225,63
7	249,17	202,49	217,67	223,11
7,1	246,60	199,65	214,58	220,28
7,2	244,39	196,21	211,63	217,41

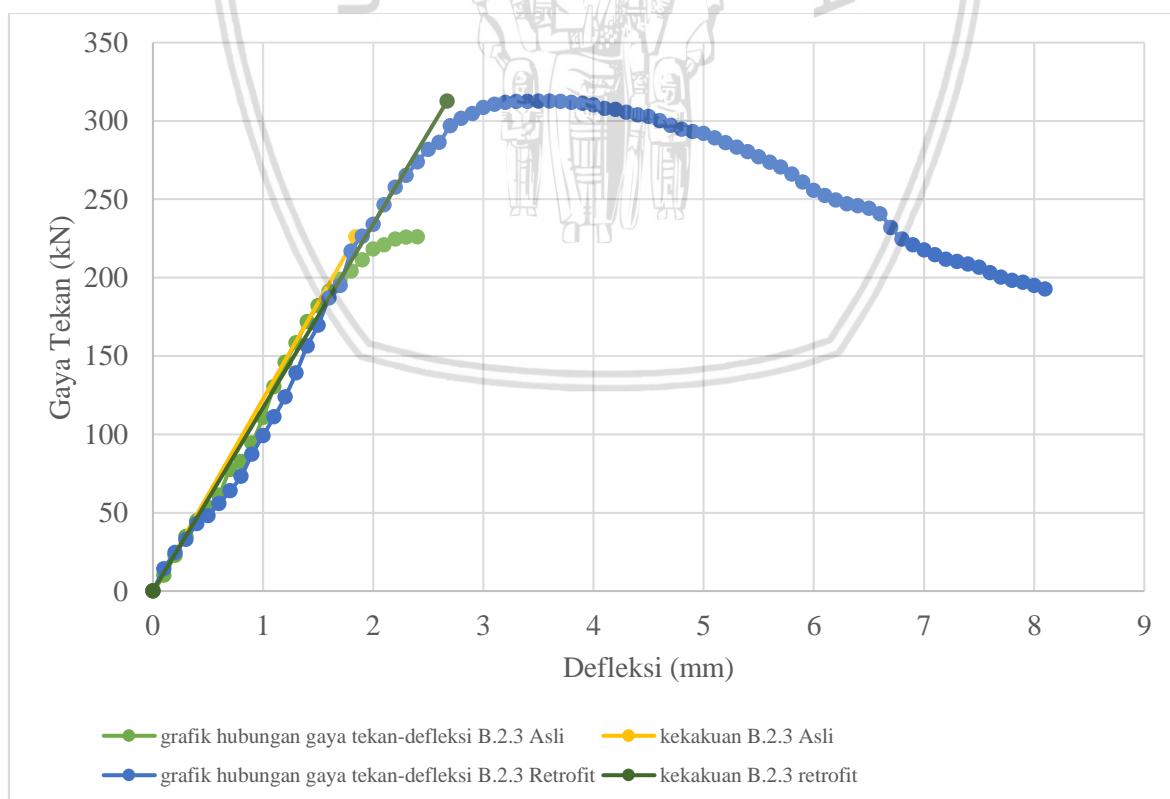
Defleksi	B.2.1	B.2.2	B.2.3	RATA-RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
7,3	240,10	191,56	210,23	213,96
7,4	234,10	188,79	208,58	210,49
7,5	225,19	185,61	206,55	205,78
7,6	216,34	181,91	203,03	200,43
7,7	214,07	178,98	200,32	197,79
7,8	211,73	175,93	198,25	195,30
7,9	209,29	172,17	197,01	192,82
8	206,70	166,43	194,99	189,37
8,1	205,67	163,07	192,65	187,13



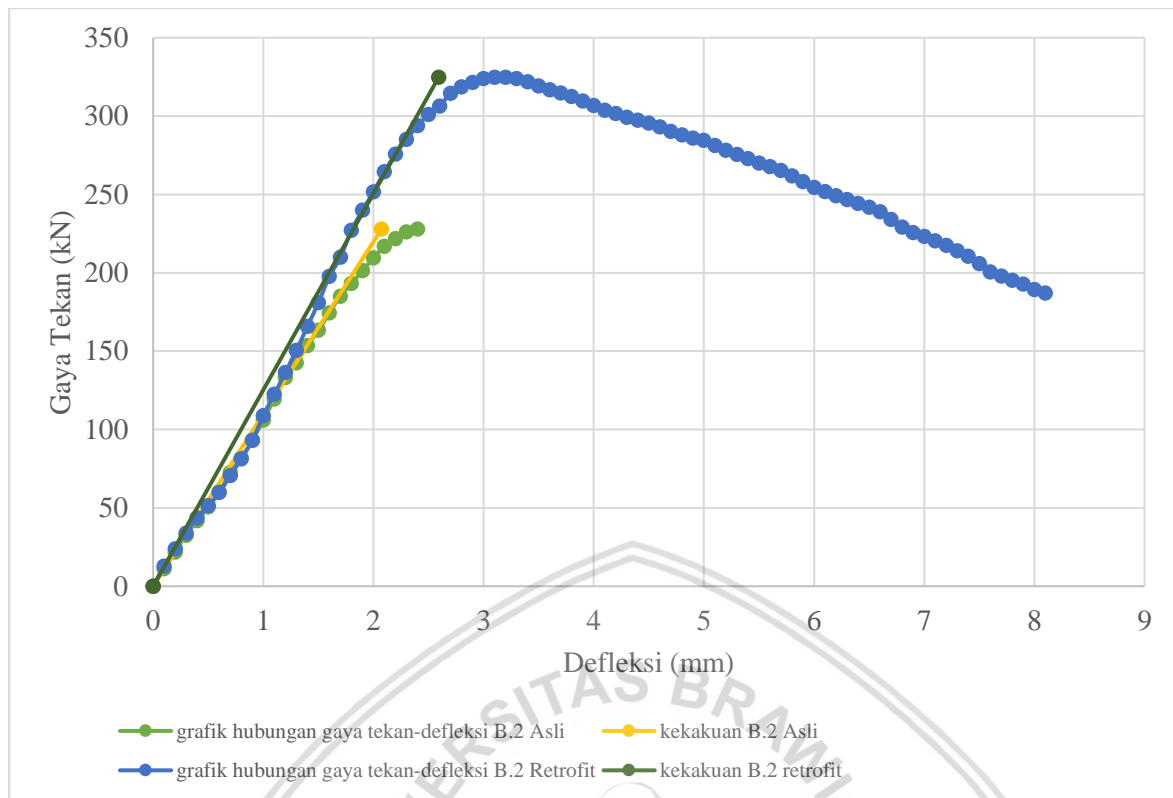
Gambar 4.18. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.2.1 dengan kolom retrofit B.2.1



Gambar 4.19. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.2.2 dengan kolom retrofit B.2.2



Gambar 4.20. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.2.3 dengan kolom retrofit B.2.3



Gambar 4.21. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.2 dengan kolom retrofit B.2

Data gaya tekan dan defleksi pada kolom asli B.2 dan kolom retrofit B.2 didapatkan dari rata – rata gabungan data gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit B.2.1, B.2.2 dan B.2.3. Dimana pengambilan nilai rata-rata gabungan diperoleh dari rata-rata gaya tekan pada satu defleksi yang sama. Dapat disimpulkan, pada kolom retrofit B.2 terjadi peningkatan batas runtuh dibandingkan dengan kolom asli B.2 dengan beban maksimum yang semula sebesar 227,87 kN menjadi 324,72 kN setelah diretrofit. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan beban tuntuuh sebesar 42,50 %.

Dari analisis gaya tekan dan defleksi nilai kekakuan dari masing-masing sampel bisa dihitung dengan cara yang telah dijelaskan sebelumnya. Bahwa kolom asli B.2 memiliki nilai kekakuan sebesar 108,98 kN/mm, dan kolom retrofit B.2 memiliki nilai kekakuan 126,10 kN/mm. Hal ini menunjukkan bahwa kolom retrofit B.2 lebih kaku jika dibandingkan kolom asli B.2, dimana kekakuan mengalami peningkatan sebesar 15,72 %.

#### 4.9.2 Hubungan Tegangan dan Regangan Kolom Asli dengan Kolom Retrofit

Hasil tegangan dan regangan yang diperoleh dari pengujian kolom asli dan kolom retrofit bisa diolah untuk mengetahui nilai modulus elastisitas dari suatu benda. Semakin besar nilai dari modulus elastisitas, maka benda akan menjadi semakin kaku. Sedangkan sebaliknya bila nilai modulus elastisitas semakin kecil, maka benda itu akan semakin elastis.

Untuk menghitung nilai modulus elastisitas digunakan rumus :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dimana :

$E$  = Modulus Elastisitas (kN/mm<sup>2</sup>)

$\sigma$  = Tegangan (kN/mm<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  = Regangan

Untuk mencari nilai modulus elastisitas kolom asli dan kolom retrofit, digunakan nilai tegangan 75% tegangan maksimum yang diperoleh dari nilai gaya tekan maksimum dibagi dengan luas penampang kolom dan nilai regangan diambil dari nilai defleksi dari 75 % gaya tekan maksimum dibagi dengan panjang mula – mula kolom yakni 300 mm.

Tabel 4.23.

Tabel data tegangan dan regangan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Tegangan Maksimum (kN/mm <sup>2</sup> )		75% Tegangan Maksimum (kN/mm <sup>2</sup> )		Regangan		Elastisitas (kN/mm <sup>2</sup> )		
		Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	
1	A1	A.1.1	0,0142	0,0240	0,0107	0,0180	0,0045	0,0042	2,3631	4,2564
2		A.1.2	0,0168	0,0257	0,0126	0,0193	0,0046	0,0051	2,7575	3,7606
3		A.1.3	0,0193	0,0274	0,0145	0,0206	0,0049	0,0061	2,9694	3,3542
4	A2	A.2.1	0,0153	0,0250	0,0115	0,0187	0,0046	0,0060	2,5142	3,1146
6		A.2.3	0,0183	0,0238	0,0137	0,0178	0,0044	0,0059	3,1404	2,9955
7	B1	B.1.1	0,0176	0,0238	0,0132	0,0179	0,0037	0,0052	3,5281	3,4531
8		B.1.2	0,0154	0,0235	0,0116	0,0176	0,0059	0,0055	1,9533	3,2110
9		B.1.3	0,0154	0,0232	0,0116	0,0174	0,0048	0,0063	2,3955	2,7595
10	B2	B.2.1	0,0157	0,0232	0,0118	0,0174	0,0063	0,0063	1,8573	2,7531
11		B.2.2	0,0174	0,0232	0,0131	0,0174	0,0053	0,0066	2,4583	2,6397
12		B.2.3	0,0157	0,0217	0,0118	0,0163	0,0046	0,0067	2,5547	2,4381



Tabel 4.24.

Tabel data rata –rata tegangan dan regangan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Tegangan Maksimum (kN/mm <sup>2</sup> )		75% Tegangan Maksimum (kN/mm <sup>2</sup> )		Regangan		Elastisitas (kN/mm <sup>2</sup> )	
		Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit
1	A1	0,0167	0,0255	0,0125	0,0191	0,0046	0,0050	2,6895	3,8062
2	A2	0,0159	0,0243	0,0119	0,0182	0,0045	0,0060	2,6662	3,0515
3	B1	0,0157	0,0232	0,0117	0,0174	0,0046	0,0056	2,5503	3,1287
4	B2	0,0158	0,0225	0,0119	0,0169	0,0052	0,0064	2,2704	2,6272

Untuk tabel 4.24 didapatkan dari rata – rata data tegangan tekan per sampel kolom asli dan kolom retrofit, bukan dari rata-rata aljabar dari setiap sampel. Hal ini dikarenakan nilai regangan pada saat tegangan maksimum masing-masing jenis sampel kolom berbeda.

Contoh perhitungan Modulus Elastisitas (E) (Kolom asli A.1.1) :

Diketahui :

$$\sigma_{\max} = 0,0142$$

$$75\% \sigma_{\max} = 75\% \times 0,0142 = 0,0107 \text{ kN/mm}^2$$

$$\epsilon_{75\% \sigma_{\max}} = \frac{((0,0047 - 0,0043)(0,0107 - 0,0102)) + (0,0045 \times (0,0109 - 0,0102))}{(0,0109 - 0,0102)} = 0,0045$$

Ditanya : E ?

Jawab :

$$E = \frac{75\% \sigma_{\max}}{\epsilon}$$

$$E = \frac{0,0107 \text{ kN/mm}^2}{0,0045}$$

$$E = 2,363 \text{ kN/mm}^2$$

#### 4.9.2.1 Kolom Asli A.1 – Kolom Retrofit A.1

Tabel 4.25.

Tabel tegangan dan regangan kolom asli A.1

Regangan	A.1.1	A.1.2	A.1.3	RATA-RATA
	Tegangan kN/mm <sup>2</sup>	Tegangan kN/mm <sup>2</sup>	Tegangan kN/mm <sup>2</sup>	Tegangan kN/mm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0
0,0003	0,0009	0,0012	0,0008	0,0010
0,0007	0,0017	0,0020	0,0016	0,0017
0,0010	0,0024	0,0026	0,0023	0,0024
0,0013	0,0032	0,0032	0,0029	0,0031
0,0017	0,0038	0,0040	0,0035	0,0037
0,0020	0,0045	0,0047	0,0042	0,0045
0,0023	0,0053	0,0055	0,0050	0,0053
0,0027	0,0061	0,0064	0,0059	0,0061
0,0030	0,0072	0,0072	0,0073	0,0072
0,0033	0,0079	0,0085	0,0085	0,0083
0,0037	0,0089	0,0096	0,0099	0,0095
0,0040	0,0096	0,0107	0,0112	0,0105
0,0043	0,0103	0,0118	0,0126	0,0116
0,0047	0,0110	0,0129	0,0138	0,0126
0,0050	0,0116	0,0138	0,0149	0,0134
0,0053	0,0124	0,0146	0,0158	0,0143
0,0057	0,0127	0,0154	0,0167	0,0149
0,0060	0,0133	0,0160	0,0173	0,0155
0,0063	0,0137	0,0164	0,0179	0,0160
0,0067	0,0141	0,0167	0,0184	0,0164
0,0070	0,0142	0,0168	0,0188	0,0166
0,0073	0,0141	0,0168	0,0190	0,0167

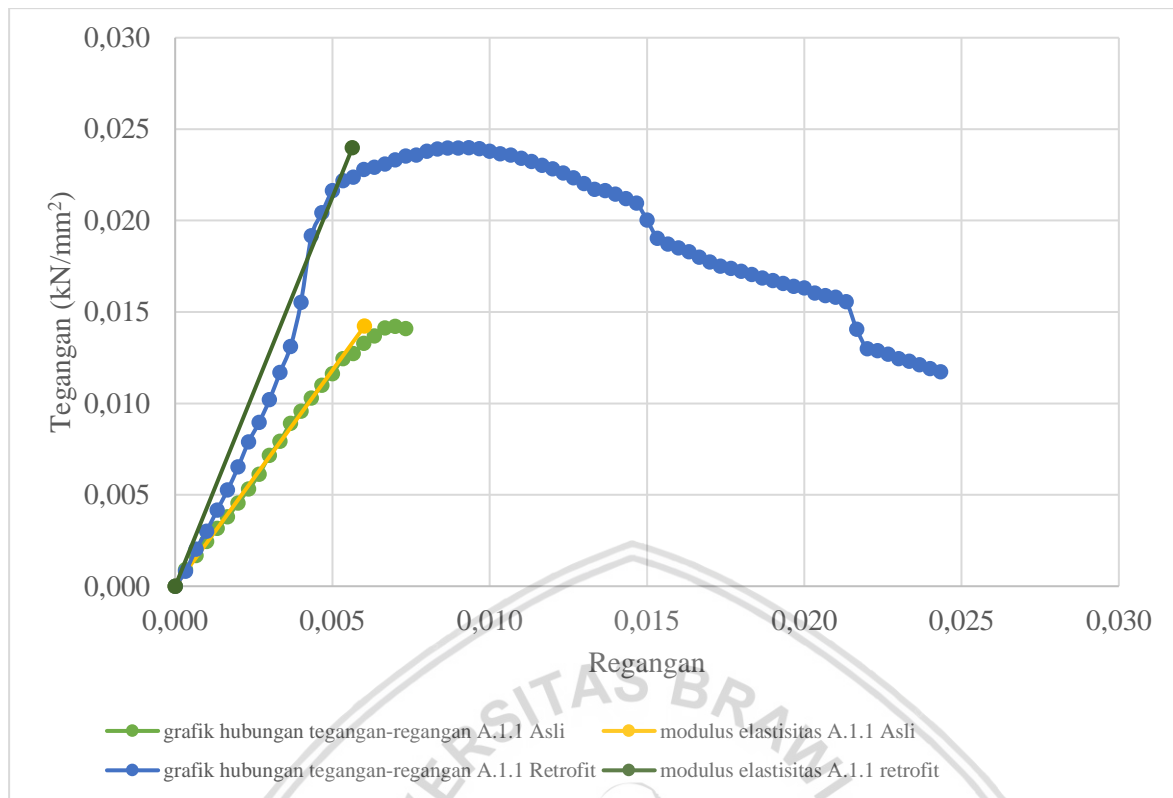
Tabel 4.26.

Tabel tegangan dan regangan kolom retrofit A.1

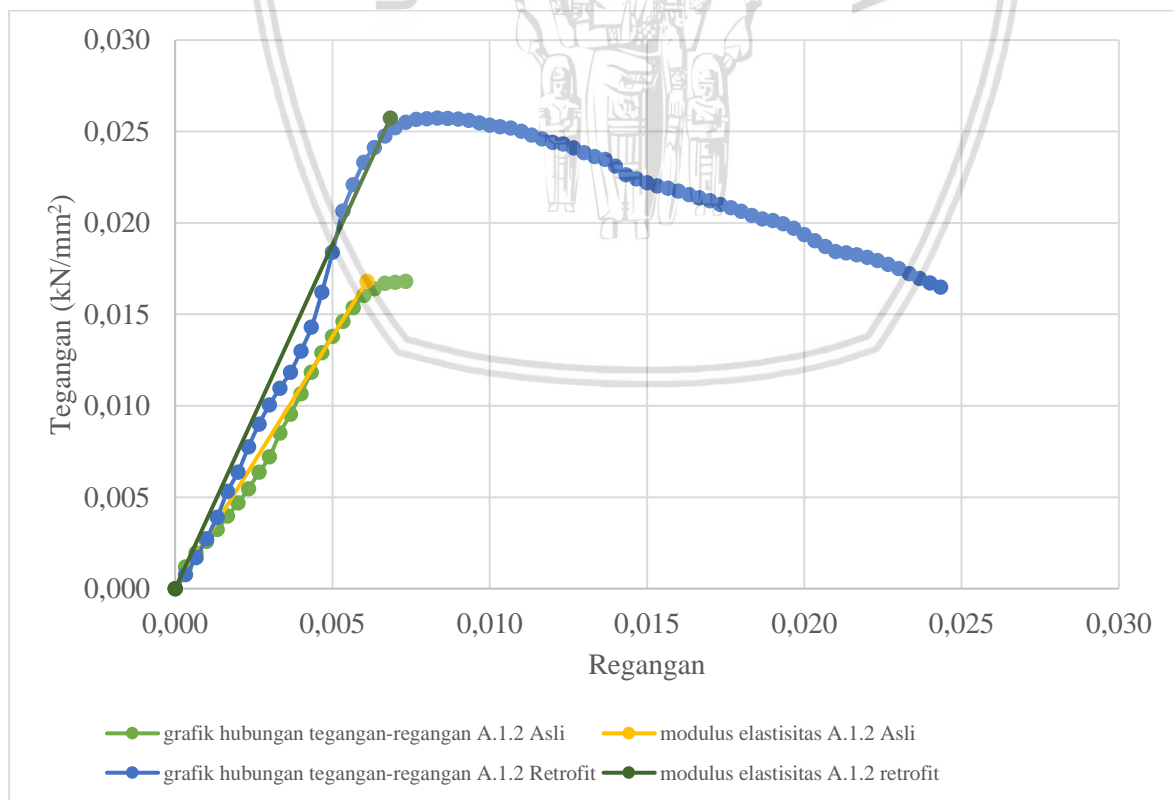
Regangan	A.1.1	A.1.2	A.1.3	RATA-RATA
	Tegangan kN/mm <sup>2</sup>	Tegangan kN/mm <sup>2</sup>	Tegangan kN/mm <sup>2</sup>	Tegangan kN/mm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0
0,0003	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008
0,0007	0,0020	0,0017	0,0018	0,0019
0,0010	0,0030	0,0027	0,0027	0,0028
0,0013	0,0042	0,0039	0,0036	0,0039
0,0017	0,0053	0,0053	0,0049	0,0052
0,0020	0,0065	0,0064	0,0056	0,0062
0,0023	0,0079	0,0078	0,0068	0,0075

Regangan	A.1.1	A.1.2	A.1.3	RATA-RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>
0,0027	0,0090	0,0090	0,0080	0,0087
0,0030	0,0102	0,0101	0,0094	0,0099
0,0033	0,0117	0,0110	0,0108	0,0112
0,0037	0,0131	0,0118	0,0122	0,0124
0,0040	0,0155	0,0130	0,0135	0,0140
0,0043	0,0192	0,0143	0,0144	0,0159
0,0047	0,0204	0,0162	0,0152	0,0173
0,0050	0,0216	0,0184	0,0170	0,0190
0,0053	0,0222	0,0207	0,0182	0,0203
0,0057	0,0224	0,0221	0,0191	0,0212
0,0060	0,0228	0,0233	0,0201	0,0221
0,0063	0,0229	0,0241	0,0213	0,0228
0,0067	0,0231	0,0248	0,0225	0,0235
0,0070	0,0233	0,0252	0,0236	0,0241
0,0073	0,0235	0,0255	0,0246	0,0245
0,0077	0,0236	0,0257	0,0250	0,0248
0,0080	0,0238	0,0257	0,0254	0,0250
0,0083	0,0239	0,0257	0,0258	0,0252
0,0087	0,0240	0,0257	0,0263	0,0253
0,0090	0,0240	0,0257	0,0266	0,0254
0,0093	0,0240	0,0256	0,0269	0,0255
0,0097	0,0239	0,0255	0,0271	0,0255
0,0100	0,0238	0,0254	0,0272	0,0255
0,0103	0,0236	0,0253	0,0274	0,0254
0,0107	0,0236	0,0252	0,0274	0,0254
0,0110	0,0234	0,0250	0,0274	0,0253
0,0113	0,0232	0,0248	0,0273	0,0251
0,0117	0,0230	0,0246	0,0272	0,0249
0,0120	0,0228	0,0244	0,0271	0,0248
0,0123	0,0226	0,0243	0,0270	0,0246
0,0127	0,0223	0,0241	0,0268	0,0244
0,0130	0,0220	0,0238	0,0267	0,0242
0,0133	0,0217	0,0236	0,0264	0,0239
0,0137	0,0216	0,0235	0,0262	0,0238
0,0140	0,0214	0,0231	0,0259	0,0235
0,0143	0,0212	0,0227	0,0257	0,0232
0,0147	0,0210	0,0224	0,0256	0,0230
0,0150	0,0200	0,0222	0,0254	0,0225
0,0153	0,0190	0,0220	0,0252	0,0221
0,0157	0,0187	0,0219	0,0250	0,0219
0,0160	0,0185	0,0217	0,0248	0,0217
0,0163	0,0183	0,0215	0,0246	0,0215

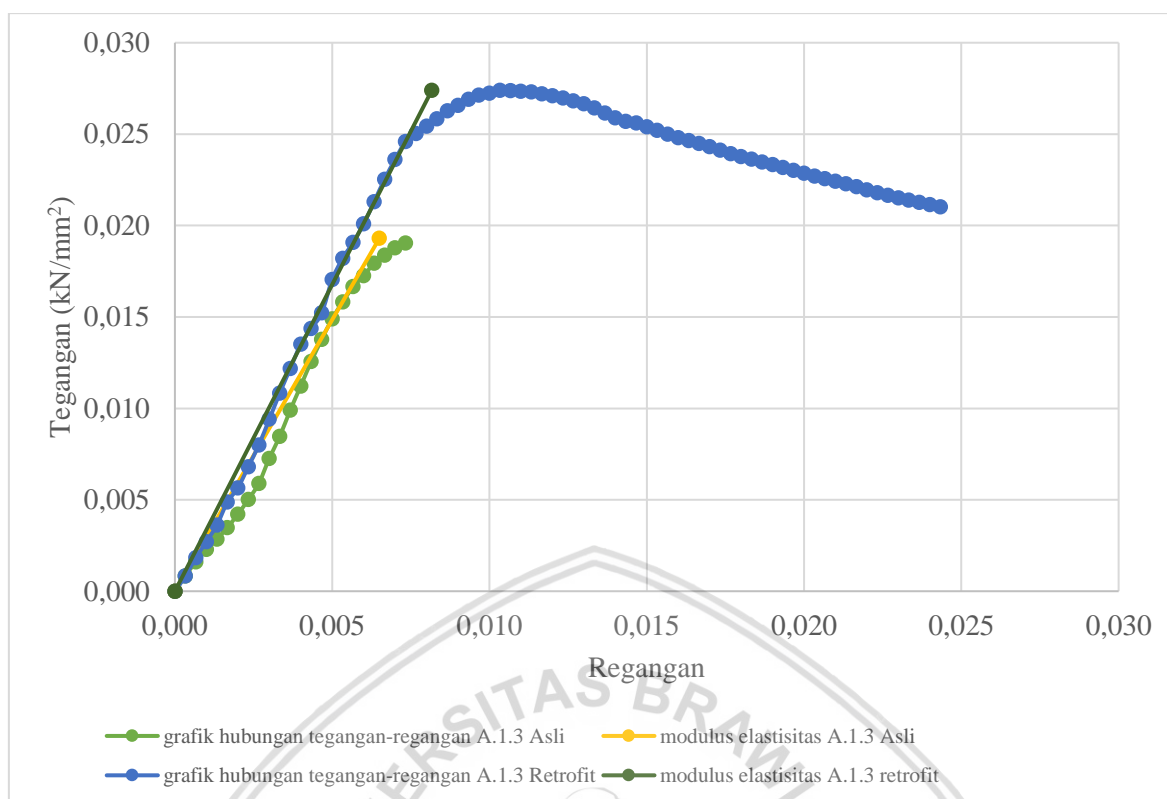
Regangan	A.1.1	A.1.2	A.1.3	RATA-RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>
0,0167	0,0180	0,0214	0,0245	0,0213
0,0170	0,0177	0,0212	0,0243	0,0211
0,0173	0,0175	0,0210	0,0241	0,0209
0,0177	0,0174	0,0208	0,0239	0,0207
0,0180	0,0172	0,0206	0,0238	0,0205
0,0183	0,0170	0,0204	0,0236	0,0204
0,0187	0,0169	0,0202	0,0235	0,0202
0,0190	0,0167	0,0201	0,0233	0,0201
0,0193	0,0166	0,0200	0,0232	0,0199
0,0197	0,0164	0,0197	0,0230	0,0197
0,0200	0,0163	0,0194	0,0229	0,0195
0,0203	0,0160	0,0190	0,0227	0,0193
0,0207	0,0159	0,0187	0,0226	0,0191
0,0210	0,0158	0,0184	0,0224	0,0189
0,0213	0,0156	0,0184	0,0223	0,0187
0,0217	0,0141	0,0183	0,0221	0,0182
0,0220	0,0130	0,0181	0,0220	0,0177
0,0223	0,0129	0,0180	0,0218	0,0175
0,0227	0,0127	0,0177	0,0216	0,0174
0,0230	0,0124	0,0175	0,0215	0,0172
0,0233	0,0123	0,0172	0,0214	0,0170
0,0237	0,0121	0,0170	0,0213	0,0168
0,0240	0,0119	0,0167	0,0211	0,0166
0,0243	0,0117	0,0165	0,0210	0,0164



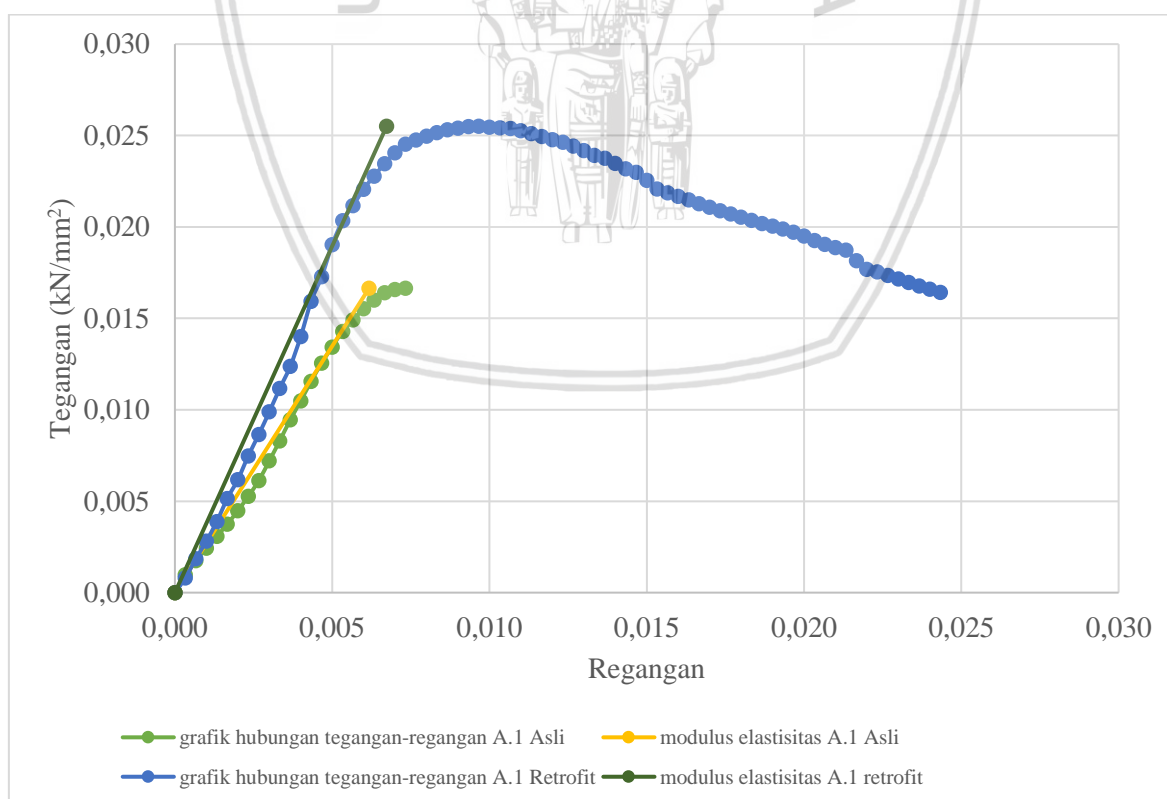
Gambar 4.22. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli A.1.1 dengan kolom retrofit A.1.1



Gambar 4.23. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli A.1.2 dengan kolom retrofit A.1.2



Gambar 4.24. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli A.1.3 dengan kolom retrofit A.1.3



Gambar 4.25. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli A.1 dengan kolom retrofit A.1

Nilai modulus elastisitas pada kolom asli A.1 dan kolom retrofit A.1 didapatkan dari rata – rata gabungan dari nilai modulus elastisitas kolom asli dan kolom retrofit A.1.1, A.1.2 dan A.1.3, bukan nilai rata-rata aljabar dari tiap jenis sampel. Hal ini dikarenakan tegangan maksimum pada masing-masing jenis sampel tidak memiliki nilai regangan yang sama. Nilai modulus elastisitas kolom asli A.1 sebesar 2,6895 kN/mm<sup>2</sup>, sedangkan nilai modulus elastisitas kolom retrofit A.1 sebesar 3,8062 kN/mm<sup>2</sup>. Jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan elastisitas pada kolom retrofit A.1 sebesar 41,52 % dari nilai elastisitas kolom asli A.1.

#### 4.9.2.2 Kolom Asli A.2 – Kolom Retrofit A.2

Tabel 4.27.

Tabel tegangan dan regangan kolom asli A.2

Regangan	A.2.1	A.2.2	RATA-RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan
	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>
0	0	0	0
0,0003	0,0008	0,0009	0,0008
0,0007	0,0014	0,0015	0,0014
0,0010	0,0021	0,0022	0,0022
0,0013	0,0028	0,0029	0,0029
0,0017	0,0037	0,0037	0,0037
0,0020	0,0043	0,0046	0,0044
0,0023	0,0050	0,0059	0,0054
0,0027	0,0059	0,0070	0,0064
0,0030	0,0067	0,0083	0,0075
0,0033	0,0076	0,0095	0,0086
0,0037	0,0085	0,0108	0,0097
0,0040	0,0096	0,0123	0,0109
0,0043	0,0107	0,0136	0,0121
0,0047	0,0118	0,0148	0,0133
0,0050	0,0129	0,0159	0,0144
0,0053	0,0138	0,0168	0,0153
0,0057	0,0144	0,0173	0,0159
0,0060	0,0151	0,0178	0,0164
0,0063	0,0153	0,0181	0,0167

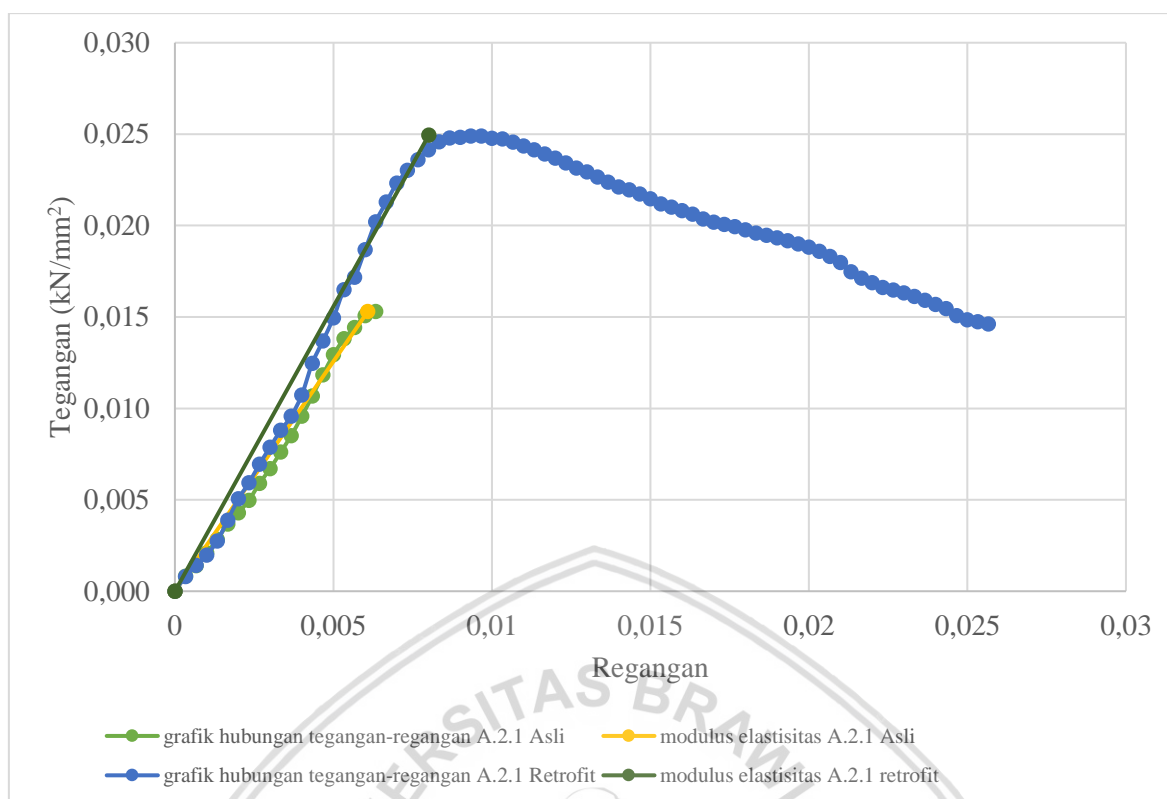


Tabel 4.28.

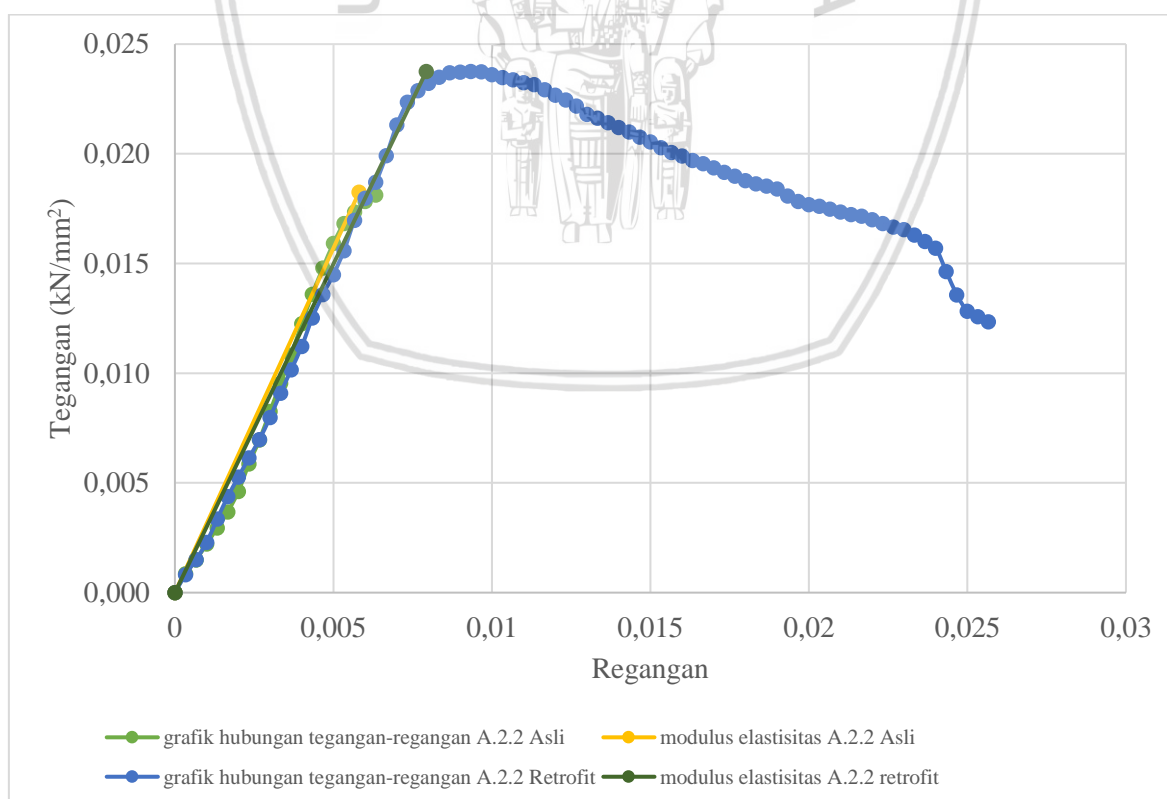
Tabel tegangan dan regangan kolom retrofit A.2

Regangan	A.2.1	A.2.2	RATA-RATA
	Tegangan kN/mm <sup>2</sup>	Tegangan kN/mm <sup>2</sup>	Tegangan kN/mm <sup>2</sup>
0	0	0	0
0,0003	0,0008	0,0008	0,0008
0,0007	0,0014	0,0015	0,0015
0,0010	0,0020	0,0023	0,0021
0,0013	0,0027	0,0034	0,0030
0,0017	0,0039	0,0044	0,0041
0,0020	0,0050	0,0053	0,0052
0,0023	0,0059	0,0061	0,0060
0,0027	0,0069	0,0070	0,0070
0,0030	0,0079	0,0080	0,0079
0,0033	0,0088	0,0091	0,0089
0,0037	0,0096	0,0102	0,0099
0,0040	0,0107	0,0112	0,0110
0,0043	0,0125	0,0125	0,0125
0,0047	0,0137	0,0136	0,0136
0,0050	0,0149	0,0145	0,0147
0,0053	0,0165	0,0156	0,0160
0,0057	0,0172	0,0170	0,0171
0,0060	0,0187	0,0180	0,0183
0,0063	0,0202	0,0187	0,0195
0,0067	0,0213	0,0199	0,0206
0,0070	0,0223	0,0213	0,0218
0,0073	0,0230	0,0223	0,0227
0,0077	0,0236	0,0229	0,0232
0,0080	0,0241	0,0232	0,0237
0,0083	0,0246	0,0235	0,0240
0,0087	0,0248	0,0237	0,0242
0,0090	0,0248	0,0237	0,0243
0,0093	0,0249	0,0238	0,0243
0,0097	0,0249	0,0237	0,0243
0,0100	0,0248	0,0236	0,0242
0,0103	0,0247	0,0235	0,0241
0,0107	0,0246	0,0234	0,0240
0,0110	0,0243	0,0232	0,0238
0,0113	0,0241	0,0232	0,0236
0,0117	0,0239	0,0229	0,0234
0,0120	0,0237	0,0227	0,0232
0,0123	0,0234	0,0225	0,0229
0,0127	0,0231	0,0222	0,0227

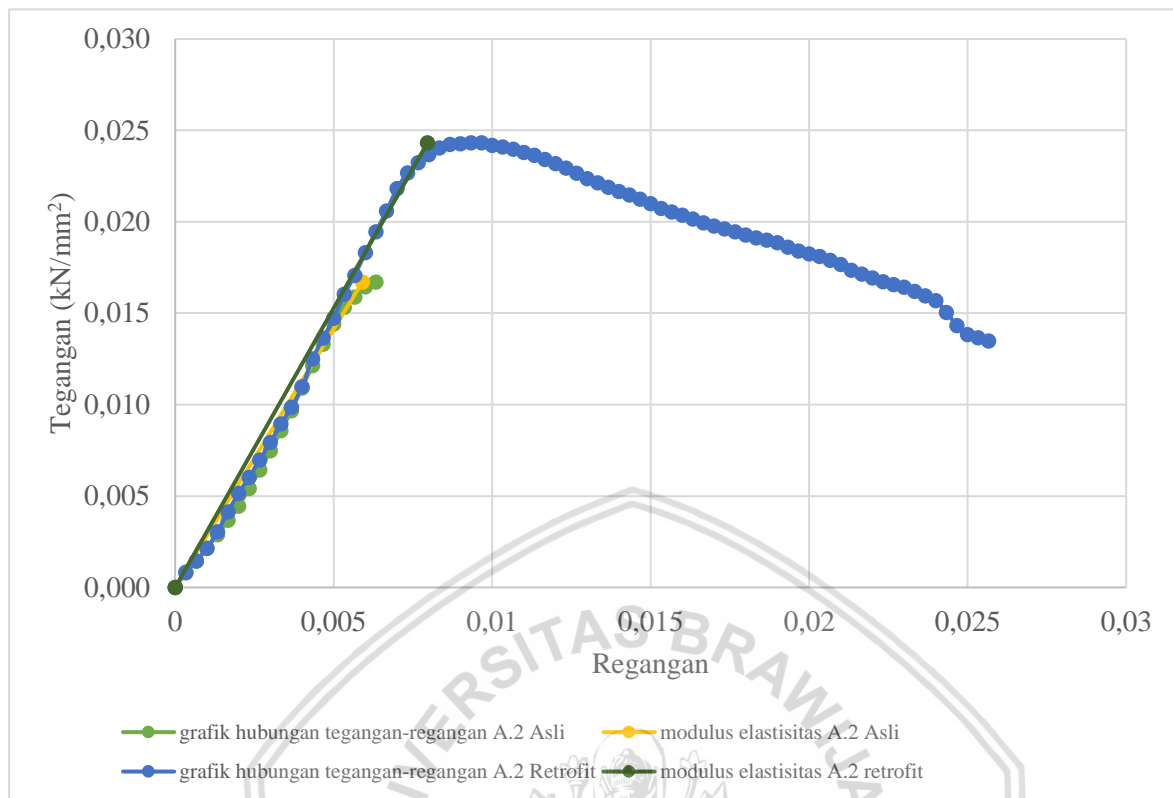
Regangan	A.2.1	A.2.2	RATA-RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan
	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>
0,0130	0,0229	0,0218	0,0224
0,0133	0,0227	0,0216	0,0221
0,0137	0,0224	0,0214	0,0219
0,0140	0,0221	0,0212	0,0217
0,0143	0,0220	0,0210	0,0215
0,0147	0,0217	0,0208	0,0212
0,0150	0,0215	0,0205	0,0210
0,0153	0,0212	0,0203	0,0207
0,0157	0,0210	0,0201	0,0205
0,0160	0,0208	0,0199	0,0204
0,0163	0,0206	0,0197	0,0202
0,0167	0,0203	0,0195	0,0199
0,0170	0,0202	0,0194	0,0198
0,0173	0,0201	0,0192	0,0196
0,0177	0,0199	0,0190	0,0195
0,0180	0,0198	0,0188	0,0193
0,0183	0,0196	0,0186	0,0191
0,0187	0,0195	0,0185	0,0190
0,0190	0,0193	0,0184	0,0189
0,0193	0,0192	0,0181	0,0186
0,0197	0,0190	0,0178	0,0184
0,0200	0,0188	0,0177	0,0183
0,0203	0,0186	0,0176	0,0181
0,0207	0,0183	0,0175	0,0179
0,0210	0,0180	0,0173	0,0177
0,0213	0,0175	0,0172	0,0173
0,0217	0,0171	0,0172	0,0171
0,0220	0,0169	0,0170	0,0169
0,0223	0,0166	0,0168	0,0167
0,0227	0,0165	0,0167	0,0166
0,0230	0,0163	0,0166	0,0164
0,0233	0,0161	0,0163	0,0162
0,0237	0,0159	0,0160	0,0160
0,0240	0,0157	0,0157	0,0157
0,0243	0,0155	0,0146	0,0150
0,0247	0,0151	0,0136	0,0143
0,0250	0,0148	0,0128	0,0138
0,0253	0,0147	0,0126	0,0137
0,0257	0,0146	0,0123	0,0135



Gambar 4.26. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli A.2.1 dengan kolom retrofit A.2.1



Gambar 4.27. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli A.2.2 dengan kolom retrofit A.2.2



Gambar 4.28. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli A.2 dengan kolom retrofit A.2

Nilai modulus elastisitas pada kolom asli A.2 dan kolom retrofit A.2 didapatkan dari rata – rata gabungan dari nilai modulus elastisitas kolom asli dan kolom retrofit A.2.1 dan A.2.3, bukan nilai rata-rata aljabar dari tiap jenis sampel. Hal ini dikarenakan tegangan maksimum pada masing-masing jenis sampel tidak memiliki nilai regangan yang sama. Nilai modulus elastisitas kolom asli A.2 sebesar  $2,6662 \text{ kN/mm}^2$ , sedangkan nilai modulus elastisitas kolom retrofit A.2 sebesar  $3,0515 \text{ kN/mm}^2$ . Jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan elastisitas pada kolom retrofit A.2 sebesar 14,45% dari nilai elastisitas kolom asli A.2.

#### 4.9.2.3 Kolom Asli B.1 – Kolom Retrofit B.1

Tabel 4.29.

Tabel tegangan dan regangan kolom asli B.1

Regangan	B.1.1	B.1.2	B.1.3	RATA-RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0
0,0003	0,0006	0,0007	0,0008	0,0007
0,0007	0,0016	0,0016	0,0015	0,0016
0,0010	0,0024	0,0024	0,0021	0,0023
0,0013	0,0032	0,0030	0,0028	0,0030
0,0017	0,0041	0,0036	0,0034	0,0037
0,0020	0,0056	0,0044	0,0040	0,0047
0,0023	0,0070	0,0049	0,0048	0,0056
0,0027	0,0085	0,0055	0,0056	0,0065
0,0030	0,0101	0,0061	0,0068	0,0077
0,0033	0,0118	0,0067	0,0075	0,0087
0,0037	0,0130	0,0073	0,0083	0,0095
0,0040	0,0140	0,0076	0,0094	0,0103
0,0043	0,0147	0,0083	0,0103	0,0111
0,0047	0,0154	0,0089	0,0113	0,0119
0,0050	0,0160	0,0096	0,0119	0,0125
0,0053	0,0163	0,0103	0,0125	0,0130
0,0057	0,0167	0,0111	0,0128	0,0135
0,0060	0,0169	0,0117	0,0133	0,0140
0,0063	0,0172	0,0124	0,0137	0,0144
0,0067	0,0173	0,0130	0,0140	0,0148
0,0070	0,0175	0,0134	0,0144	0,0151
0,0073	0,0175	0,0139	0,0147	0,0154
0,0077	0,0175	0,0143	0,0148	0,0155
0,0080	0,0175	0,0144	0,0151	0,0157

Tabel 4.30.

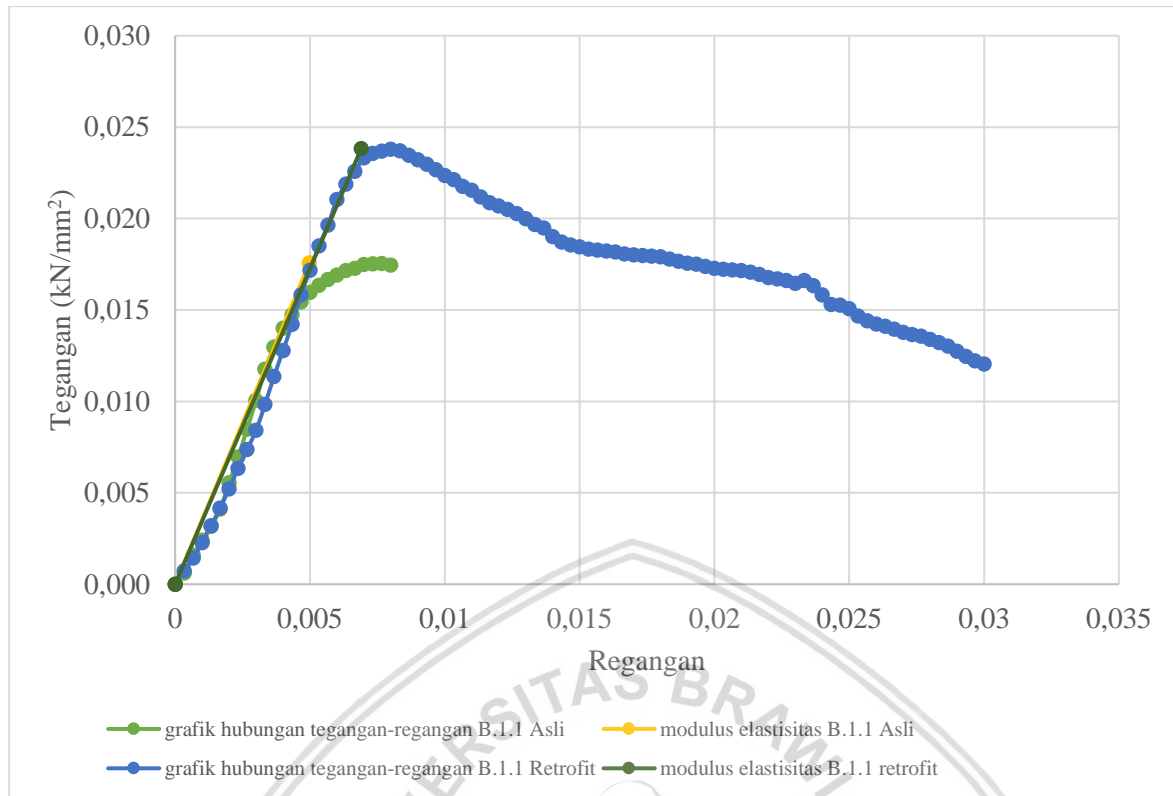
Tabel tegangan dan regangan kolom retrofit B.1

Regangan	B.1.1	B.1.2	B.1.3	RATA-RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0
0,0003	0,0007	0,0009	0,0006	0,0008
0,0007	0,0014	0,0016	0,0014	0,0015
0,0010	0,0023	0,0022	0,0021	0,0022
0,0013	0,0032	0,0029	0,0028	0,0030
0,0017	0,0042	0,0037	0,0035	0,0038
0,0020	0,0052	0,0044	0,0043	0,0046

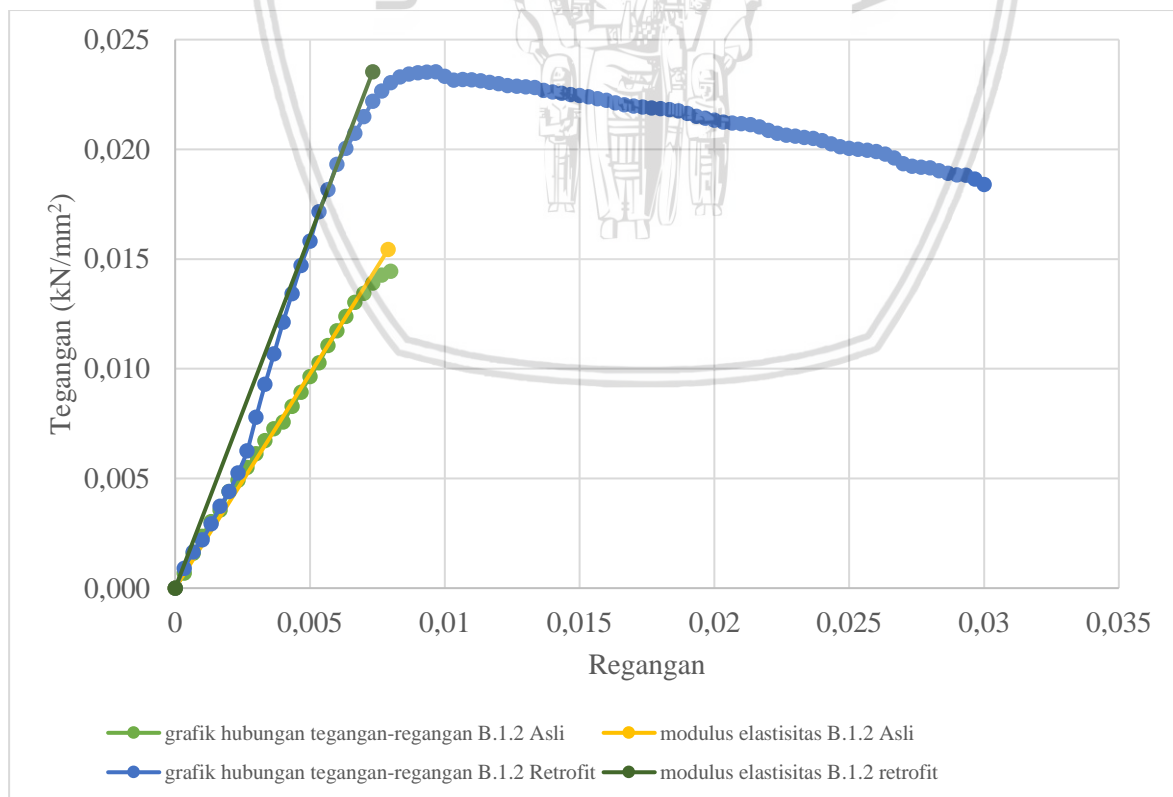
Regangan	B.1.1	B.1.2	B.1.3	RATA-RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>
0,0023	0,0063	0,0052	0,0049	0,0055
0,0027	0,0074	0,0063	0,0056	0,0064
0,0030	0,0084	0,0078	0,0063	0,0075
0,0033	0,0098	0,0093	0,0074	0,0088
0,0037	0,0114	0,0107	0,0083	0,0101
0,0040	0,0128	0,0121	0,0096	0,0115
0,0043	0,0142	0,0134	0,0109	0,0128
0,0047	0,0158	0,0147	0,0120	0,0142
0,0050	0,0172	0,0158	0,0132	0,0154
0,0053	0,0185	0,0172	0,0145	0,0167
0,0057	0,0196	0,0182	0,0153	0,0177
0,0060	0,0210	0,0193	0,0165	0,0190
0,0063	0,0219	0,0200	0,0175	0,0198
0,0067	0,0226	0,0207	0,0184	0,0206
0,0070	0,0233	0,0215	0,0194	0,0214
0,0073	0,0236	0,0222	0,0203	0,0220
0,0077	0,0237	0,0227	0,0211	0,0225
0,0080	0,0238	0,0230	0,0217	0,0228
0,0083	0,0237	0,0233	0,0221	0,0230
0,0087	0,0235	0,0234	0,0224	0,0231
0,0090	0,0232	0,0235	0,0228	0,0231
0,0093	0,0230	0,0235	0,0230	0,0232
0,0097	0,0227	0,0235	0,0231	0,0231
0,0100	0,0223	0,0233	0,0231	0,0229
0,0103	0,0221	0,0231	0,0231	0,0228
0,0107	0,0218	0,0232	0,0231	0,0227
0,0110	0,0216	0,0232	0,0231	0,0226
0,0113	0,0212	0,0231	0,0230	0,0224
0,0117	0,0209	0,0231	0,0229	0,0223
0,0120	0,0207	0,0230	0,0228	0,0222
0,0123	0,0205	0,0229	0,0227	0,0220
0,0127	0,0203	0,0229	0,0226	0,0219
0,0130	0,0200	0,0228	0,0225	0,0218
0,0133	0,0197	0,0228	0,0223	0,0216
0,0137	0,0195	0,0227	0,0222	0,0214
0,0140	0,0190	0,0226	0,0221	0,0212
0,0143	0,0187	0,0226	0,0219	0,0211
0,0147	0,0185	0,0225	0,0217	0,0209
0,0150	0,0184	0,0225	0,0216	0,0208
0,0153	0,0183	0,0224	0,0214	0,0207
0,0157	0,0183	0,0223	0,0213	0,0206
0,0160	0,0182	0,0222	0,0211	0,0205

Regangan	B.1.1	B.1.2	B.1.3	RATA-RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>
0,0163	0,0182	0,0221	0,0210	0,0204
0,0167	0,0181	0,0220	0,0209	0,0203
0,0170	0,0180	0,0220	0,0209	0,0203
0,0173	0,0180	0,0219	0,0208	0,0202
0,0177	0,0179	0,0219	0,0208	0,0202
0,0180	0,0179	0,0218	0,0206	0,0201
0,0183	0,0178	0,0218	0,0205	0,0200
0,0187	0,0177	0,0217	0,0204	0,0199
0,0190	0,0176	0,0216	0,0203	0,0198
0,0193	0,0175	0,0215	0,0201	0,0197
0,0197	0,0174	0,0214	0,0199	0,0196
0,0200	0,0173	0,0213	0,0198	0,0195
0,0203	0,0172	0,0212	0,0192	0,0192
0,0207	0,0172	0,0212	0,0188	0,0191
0,0210	0,0171	0,0212	0,0185	0,0189
0,0213	0,0171	0,0211	0,0184	0,0189
0,0217	0,0169	0,0210	0,0183	0,0188
0,0220	0,0168	0,0209	0,0182	0,0186
0,0223	0,0167	0,0207	0,0181	0,0185
0,0227	0,0166	0,0206	0,0179	0,0184
0,0230	0,0165	0,0206	0,0178	0,0183
0,0233	0,0166	0,0205	0,0178	0,0183
0,0237	0,0163	0,0205	0,0177	0,0182
0,0240	0,0158	0,0204	0,0175	0,0179
0,0243	0,0153	0,0202	0,0174	0,0176
0,0247	0,0153	0,0201	0,0172	0,0175
0,0250	0,0151	0,0200	0,0172	0,0174
0,0253	0,0147	0,0200	0,0171	0,0173
0,0257	0,0144	0,0200	0,0170	0,0171
0,0260	0,0142	0,0199	0,0169	0,0170
0,0263	0,0141	0,0198	0,0168	0,0169
0,0267	0,0140	0,0196	0,0167	0,0167
0,0270	0,0138	0,0193	0,0166	0,0166
0,0273	0,0136	0,0192	0,0165	0,0165
0,0277	0,0136	0,0192	0,0164	0,0164
0,0280	0,0134	0,0192	0,0164	0,0163
0,0283	0,0132	0,0190	0,0155	0,0159
0,0287	0,0130	0,0189	0,0145	0,0155
0,0290	0,0127	0,0188	0,0144	0,0153
0,0293	0,0125	0,0188	0,0143	0,0152
0,0297	0,0122	0,0186	0,0142	0,0150
0,0300	0,0120	0,0184	0,0140	0,0148

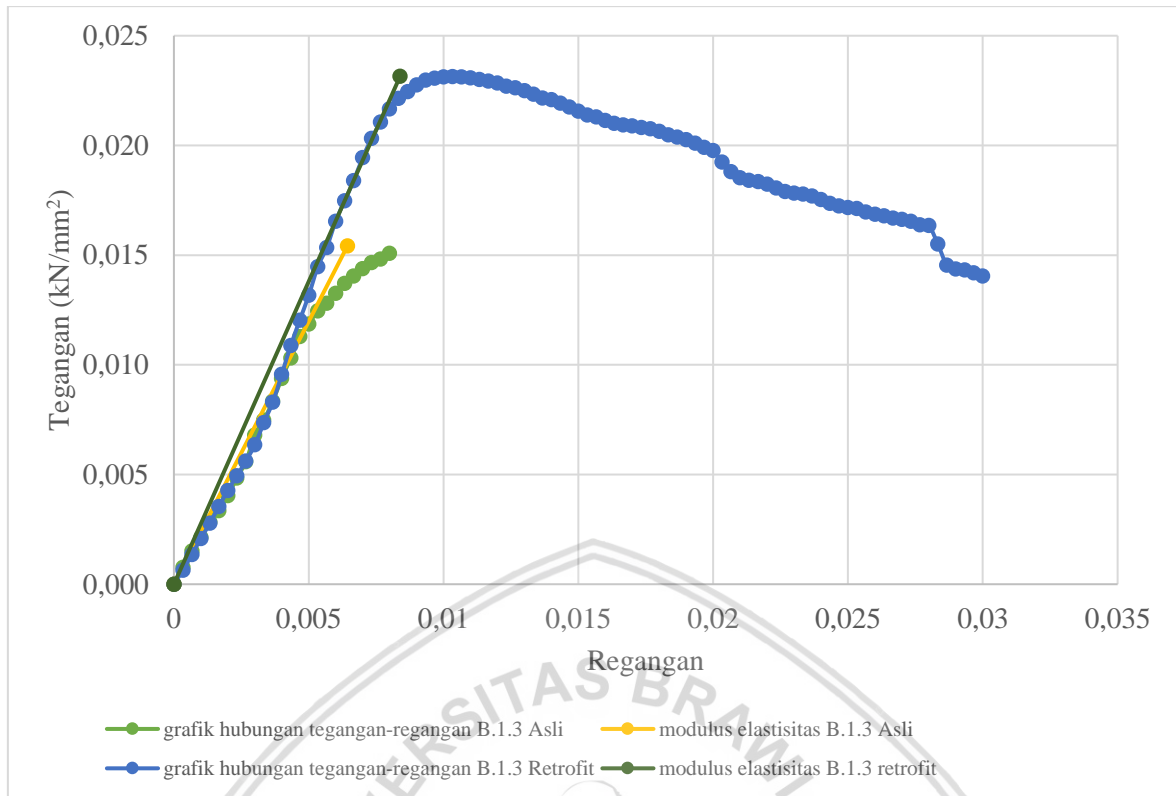




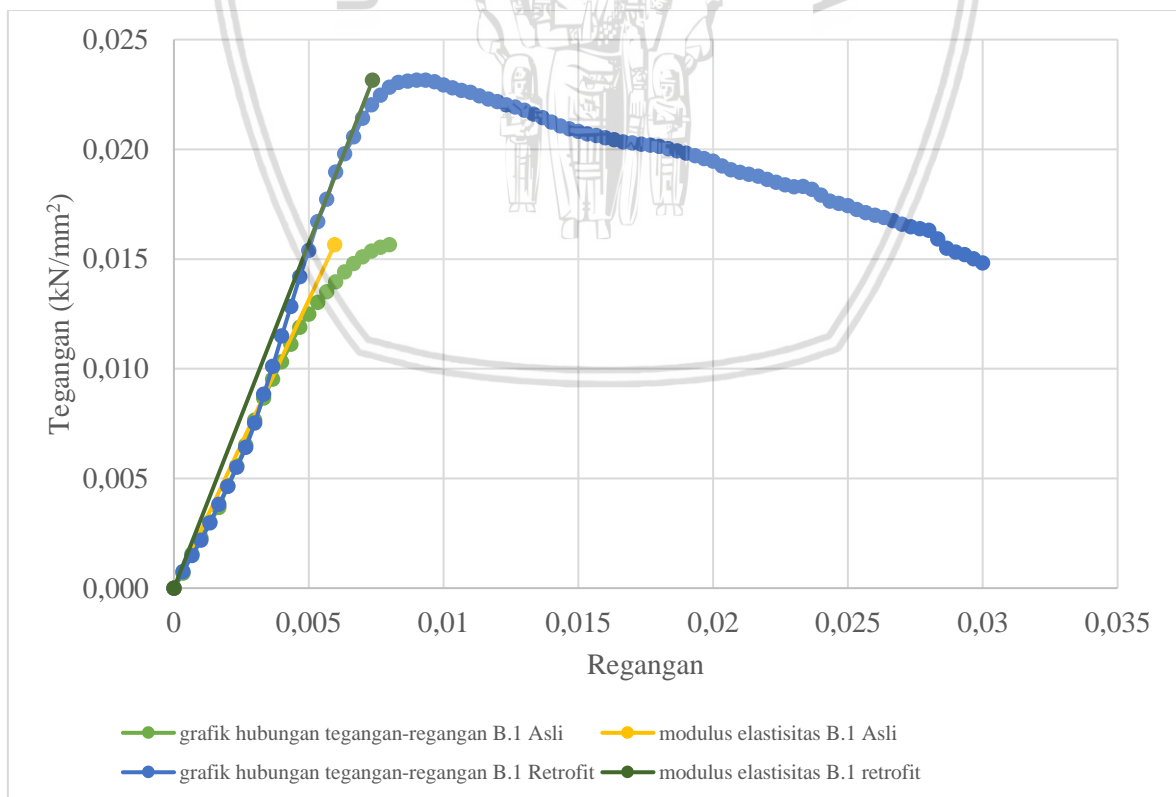
Gambar 4.29. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.1.1 dengan kolom retrofit B.1.1



Gambar 4.30. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.1.2 dengan kolom retrofit B.1.2



Gambar 4.31. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.1.3 dengan kolom retrofit B.1.3



Gambar 4.32. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.1 dengan kolom retrofit B.1

Nilai modulus elastisitas pada kolom asli B.1 dan kolom retrofit B.1 didapatkan dari rata – rata gabungan dari nilai modulus elastisitas kolom asli dan kolom retrofit B.1.1, B.1.2 dan B.1.3, bukan nilai rata-rata aljabar dari tiap jenis sampel. Hal ini dikarenakan tegangan maksimum pada masing-masing jenis sampel tidak memiliki nilai regangan yang sama. Nilai modulus elastisitas kolom asli B.1 sebesar 2,5503 kN/mm<sup>2</sup>, sedangkan nilai modulus elastisitas kolom retrofit B.1 sebesar 3,1287 kN/mm<sup>2</sup>. Jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan elastisitas pada kolom retrofit B.1 sebesar 22,68 % dari nilai elastisitas kolom asli B.1.

#### 4.9.2.4 Kolom Asli B.2 – Kolom Retrofit B.2

Tabel 4.31.

Tabel tegangan dan regangan kolom asli B.2

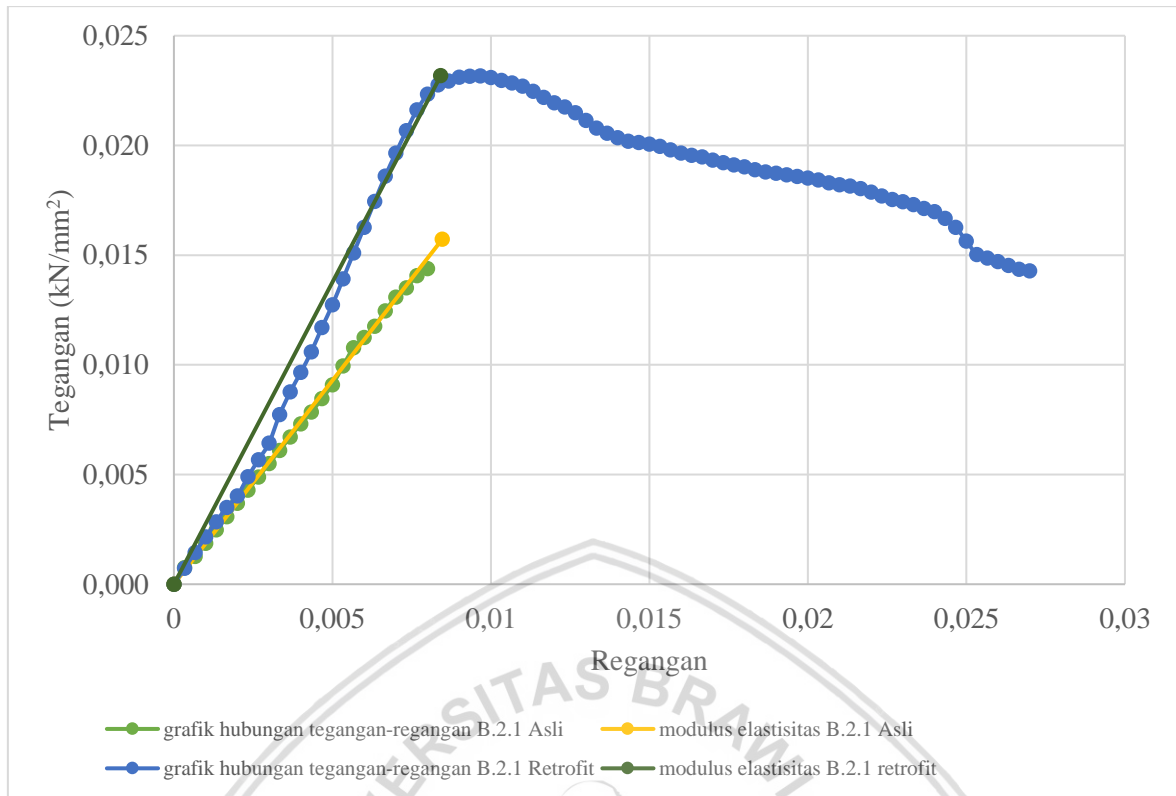
Regangan	B.2.1	B.2.2	B.2.3	RATA-RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0
0,0003	0,0008	0,0009	0,0007	0,0008
0,0007	0,0013	0,0017	0,0016	0,0015
0,0010	0,0019	0,0025	0,0024	0,0023
0,0013	0,0025	0,0031	0,0031	0,0029
0,0017	0,0031	0,0037	0,0037	0,0035
0,0020	0,0037	0,0046	0,0042	0,0042
0,0023	0,0043	0,0055	0,0054	0,0050
0,0027	0,0049	0,0064	0,0057	0,0057
0,0030	0,0055	0,0073	0,0066	0,0065
0,0033	0,0061	0,0083	0,0077	0,0074
0,0037	0,0067	0,0091	0,0091	0,0083
0,0040	0,0073	0,0103	0,0101	0,0092
0,0043	0,0078	0,0109	0,0110	0,0099
0,0047	0,0085	0,0116	0,0119	0,0107
0,0050	0,0091	0,0123	0,0126	0,0113
0,0053	0,0099	0,0131	0,0133	0,0121
0,0057	0,0108	0,0140	0,0138	0,0129
0,0060	0,0112	0,0148	0,0142	0,0134
0,0063	0,0118	0,0155	0,0147	0,0140
0,0067	0,0125	0,0160	0,0152	0,0145
0,0070	0,0131	0,0168	0,0153	0,0151
0,0073	0,0135	0,0171	0,0156	0,0154
0,0077	0,0141	0,0174	0,0157	0,0157
0,0080	0,0144	0,0174	0,0157	0,0158

Tabel 4.32.

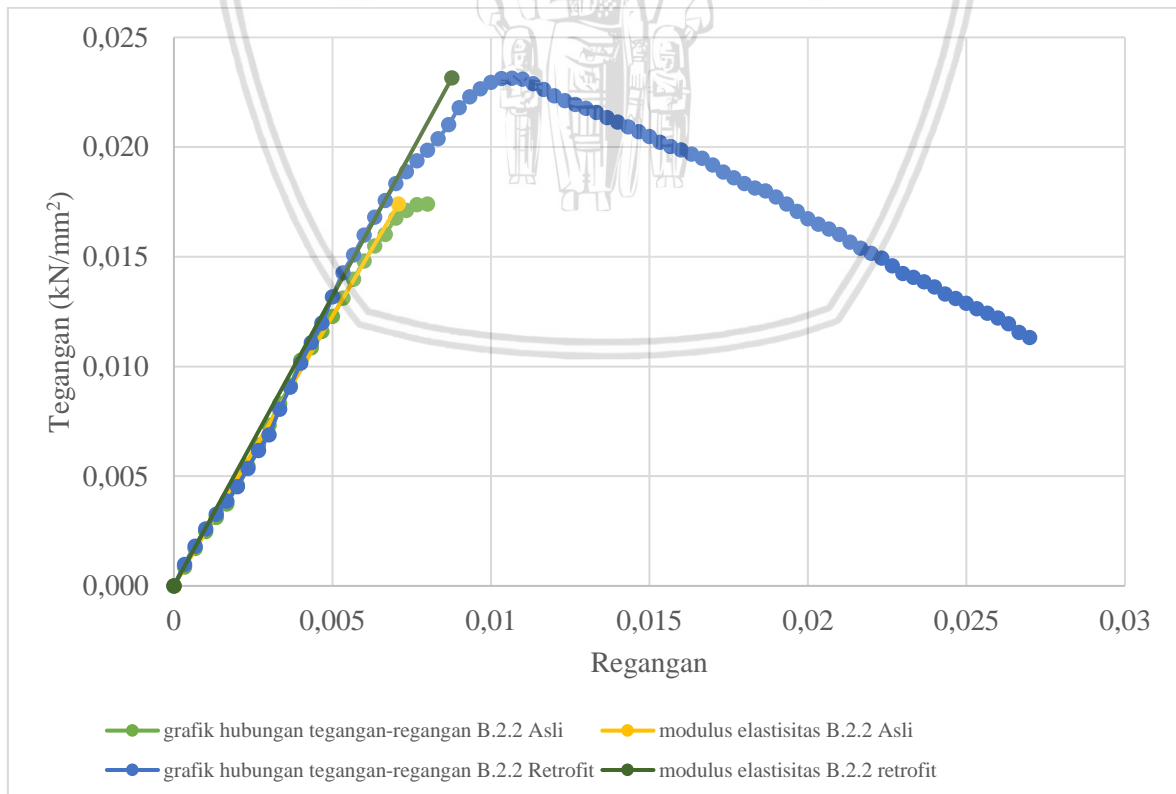
Tabel tegangan dan regangan kolom retrofit B.2

Regangan	B.2.1	B.2.2	B.2.3	RATA-RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0
0,0003	0,0007	0,0010	0,0010	0,0009
0,0007	0,0014	0,0018	0,0017	0,0017
0,0010	0,0022	0,0026	0,0023	0,0023
0,0013	0,0028	0,0033	0,0030	0,0030
0,0017	0,0035	0,0039	0,0033	0,0036
0,0020	0,0040	0,0045	0,0039	0,0041
0,0023	0,0049	0,0054	0,0044	0,0049
0,0027	0,0057	0,0062	0,0051	0,0056
0,0030	0,0064	0,0069	0,0061	0,0065
0,0033	0,0077	0,0080	0,0069	0,0076
0,0037	0,0088	0,0091	0,0077	0,0085
0,0040	0,0096	0,0102	0,0086	0,0095
0,0043	0,0106	0,0111	0,0097	0,0104
0,0047	0,0117	0,0120	0,0109	0,0115
0,0050	0,0127	0,0132	0,0118	0,0126
0,0053	0,0139	0,0143	0,0130	0,0137
0,0057	0,0151	0,0151	0,0135	0,0146
0,0060	0,0163	0,0160	0,0151	0,0158
0,0063	0,0175	0,0168	0,0157	0,0167
0,0067	0,0186	0,0176	0,0163	0,0175
0,0070	0,0197	0,0183	0,0171	0,0184
0,0073	0,0207	0,0189	0,0179	0,0191
0,0077	0,0216	0,0194	0,0184	0,0198
0,0080	0,0223	0,0199	0,0190	0,0204
0,0083	0,0228	0,0204	0,0196	0,0209
0,0087	0,0229	0,0210	0,0199	0,0213
0,0090	0,0231	0,0218	0,0206	0,0218
0,0093	0,0231	0,0223	0,0209	0,0221
0,0097	0,0232	0,0227	0,0212	0,0223
0,0100	0,0231	0,0230	0,0214	0,0225
0,0103	0,0230	0,0231	0,0216	0,0225
0,0107	0,0228	0,0231	0,0217	0,0225
0,0110	0,0227	0,0231	0,0217	0,0225
0,0113	0,0225	0,0229	0,0217	0,0223
0,0117	0,0222	0,0226	0,0217	0,0222
0,0120	0,0219	0,0223	0,0217	0,0220
0,0123	0,0218	0,0221	0,0217	0,0219
0,0127	0,0215	0,0219	0,0216	0,0217
0,0130	0,0211	0,0218	0,0216	0,0215

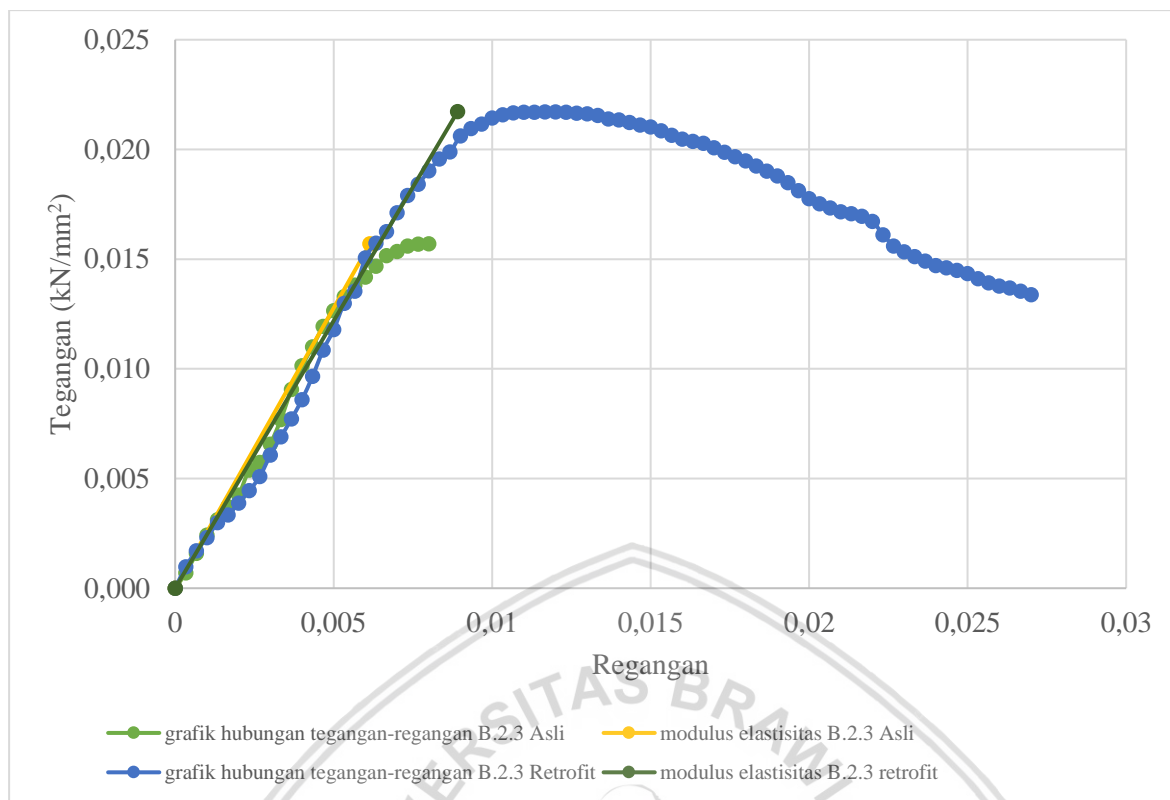
Regangan	B.2.1	B.2.2	B.2.3	RATA-RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>
0,0133	0,0208	0,0216	0,0215	0,0213
0,0137	0,0205	0,0214	0,0214	0,0211
0,0140	0,0204	0,0211	0,0213	0,0209
0,0143	0,0202	0,0209	0,0212	0,0208
0,0147	0,0201	0,0207	0,0211	0,0206
0,0150	0,0201	0,0205	0,0210	0,0205
0,0153	0,0200	0,0202	0,0208	0,0203
0,0157	0,0198	0,0200	0,0206	0,0202
0,0160	0,0196	0,0199	0,0205	0,0200
0,0163	0,0195	0,0197	0,0204	0,0199
0,0167	0,0195	0,0195	0,0203	0,0197
0,0170	0,0193	0,0192	0,0201	0,0195
0,0173	0,0192	0,0189	0,0199	0,0193
0,0177	0,0191	0,0186	0,0197	0,0191
0,0180	0,0190	0,0183	0,0195	0,0189
0,0183	0,0189	0,0181	0,0192	0,0188
0,0187	0,0188	0,0180	0,0190	0,0186
0,0190	0,0187	0,0177	0,0188	0,0184
0,0193	0,0187	0,0174	0,0185	0,0182
0,0197	0,0186	0,0171	0,0181	0,0179
0,0200	0,0185	0,0167	0,0178	0,0177
0,0203	0,0184	0,0165	0,0175	0,0175
0,0207	0,0183	0,0163	0,0173	0,0173
0,0210	0,0182	0,0160	0,0172	0,0171
0,0213	0,0181	0,0157	0,0171	0,0170
0,0217	0,0180	0,0154	0,0170	0,0168
0,0220	0,0179	0,0152	0,0167	0,0166
0,0223	0,0177	0,0149	0,0161	0,0162
0,0227	0,0175	0,0146	0,0156	0,0159
0,0230	0,0174	0,0142	0,0153	0,0157
0,0233	0,0173	0,0141	0,0151	0,0155
0,0237	0,0171	0,0139	0,0149	0,0153
0,0240	0,0170	0,0136	0,0147	0,0151
0,0243	0,0167	0,0133	0,0146	0,0149
0,0247	0,0163	0,0131	0,0145	0,0146
0,0250	0,0156	0,0129	0,0143	0,0143
0,0253	0,0150	0,0126	0,0141	0,0139
0,0257	0,0149	0,0124	0,0139	0,0137
0,0260	0,0147	0,0122	0,0138	0,0136
0,0263	0,0145	0,0120	0,0137	0,0134
0,0267	0,0144	0,0116	0,0135	0,0132
0,0270	0,0143	0,0113	0,0134	0,0130



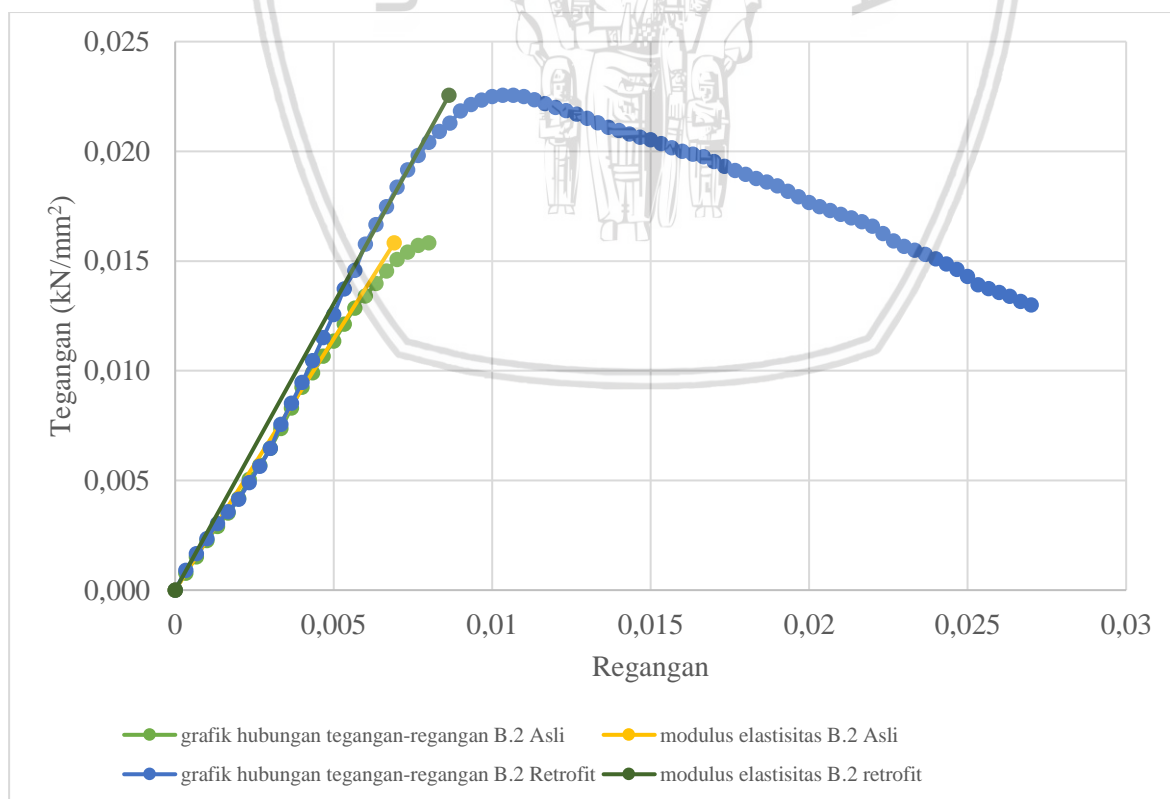
Gambar 4.33. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.2.1 dengan kolom retrofit B.2.1



Gambar 4.34. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.2.2 dengan kolom retrofit B.2.2



Gambar 4.35. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.2.3 dengan kolom retrofit B.2.3



Gambar 4.36. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.2 dengan kolom retrofit B.2



Nilai modulus elastisitas pada kolom asli B.2 dan kolom retrofit B.2 didapatkan dari rata – rata gabungan dari nilai modulus elastisitas kolom asli dan kolom retrofit B.2.1, B.2.2 dan B.2.3, bukan nilai rata-rata aljabar dari tiap jenis sampel. Hal ini dikarenakan tegangan maksimum pada masing-masing jenis sampel tidak memiliki nilai regangan yang sama. Nilai modulus elastisitas kolom asli B.2 sebesar 2,2704 kN/mm<sup>2</sup>, sedangkan nilai modulus elastisitas kolom retrofit B.2 sebesar 2,6272 kN/mm<sup>2</sup>. Jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan elastisitas pada kolom retrofit B.2 sebesar 15,72 % dari nilai elastisitas kolom asli B.2.

#### 4.9.3 Daktilitas Kolom Asli dengan Kolom Retrofit

Daktilitas adalah kemampuan material atau elemen struktru untuk berdeformasi pada masa inelastis. Analisis mengenai daktilitas antara kolom asli dengan kolom retrofit bertujuan untuk mengetahui nilai daktilitas pada kolom. Pada penelitian kali ini, pengujian kolom asli dilakukan sampai pada beban puncak (*peak load*) oleh karena itu perhitungan daktilitas dilakukan pada beban puncak. Daktilitas diperlukan pada batang atau bagian yang mungkin mengalami beban yang besar secara tiba-tiba, untuk mengetahui perubahan bentuk yang berlebihan dan memberikan tanda-tanda ancaman kerusakan.

Nilai daktilitas didapatkan dari rumus :

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y}$$

Dimana :

$\mu_{\Delta}$  = Nilai daktilitas

$\Delta u$  = Deformasi *ultimate* (mm)

$\Delta y$  = Deformasi leleh (mm)

Analisis data untuk mencari nilai daktilitas kolom asli dan kolom retrofit, diperlukan nilai deformasi ultimate yang didapatkan dari deformasi pada saat beban puncak (*peak load*).

Tabel 4.33.

Tabel daktilitas pada kolom asli dan kolom retrofit

Kolom		Gaya Tekan Maksimum	$\Delta y$	Beban Runtuh	$\Delta u$	Daktilitas	Peningkatan Daktilitas
		kN	mm	kN	mm		%
A1	Asli	239,77	1,86	239,77	2,20	1,18	21,75%
	Retrofit	367,39	2,01	367,39	2,90	1,44	
A2	Asli	240,59	1,88	240,59	1,90	1,01	15,85%
	Retrofit	350,29	2,39	350,29	2,80	1,17	
B1	Asli	225,41	1,84	225,41	2,40	1,30	-3,24%
	Retrofit	333,42	2,22	333,42	2,80	1,26	
B2	Asli	227,87	2,09	227,87	2,40	1,15	4,89%
	Retrofit	324,72	2,57	324,72	3,10	1,20	

Contoh perhitungan daktilitas (Kolom asli A.1) :

Diketahui :

$$\Delta u = 2,20 \text{ mm}$$

$$\Delta y = 1,86 \text{ mm}$$

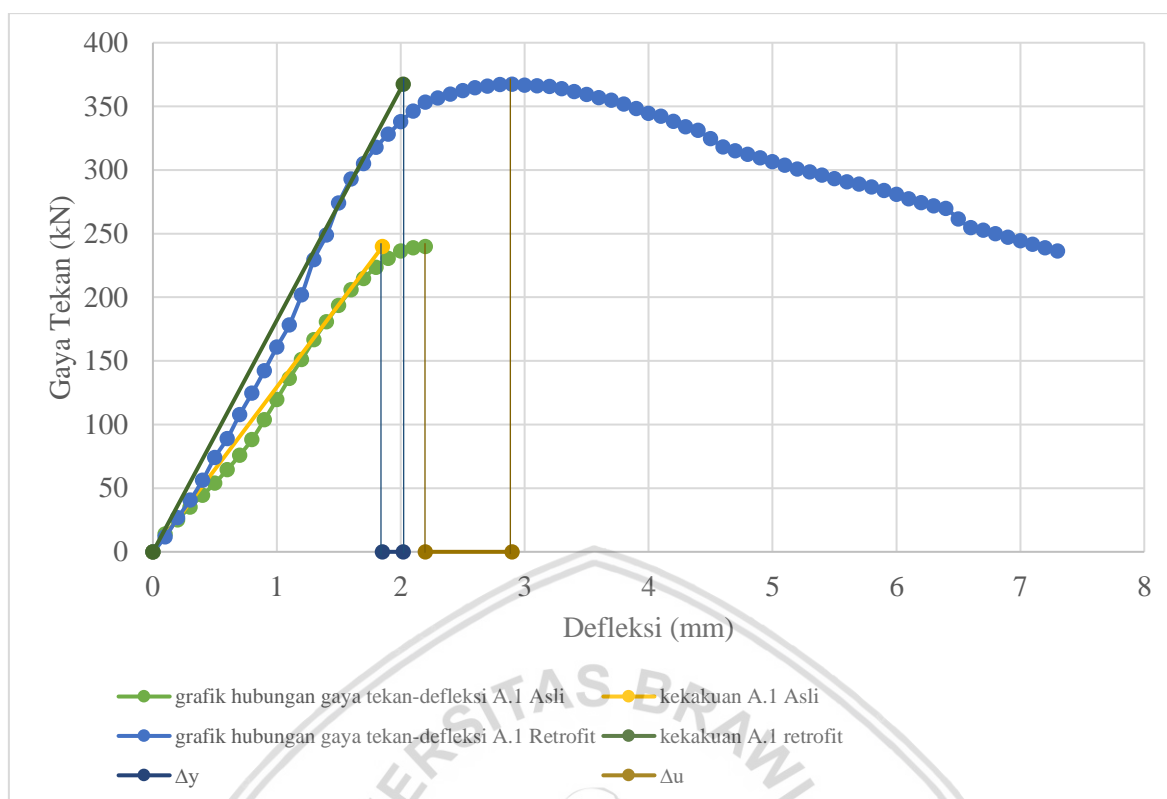
Dit :  $\mu_{\Delta}$ 

Jawab :

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y}$$

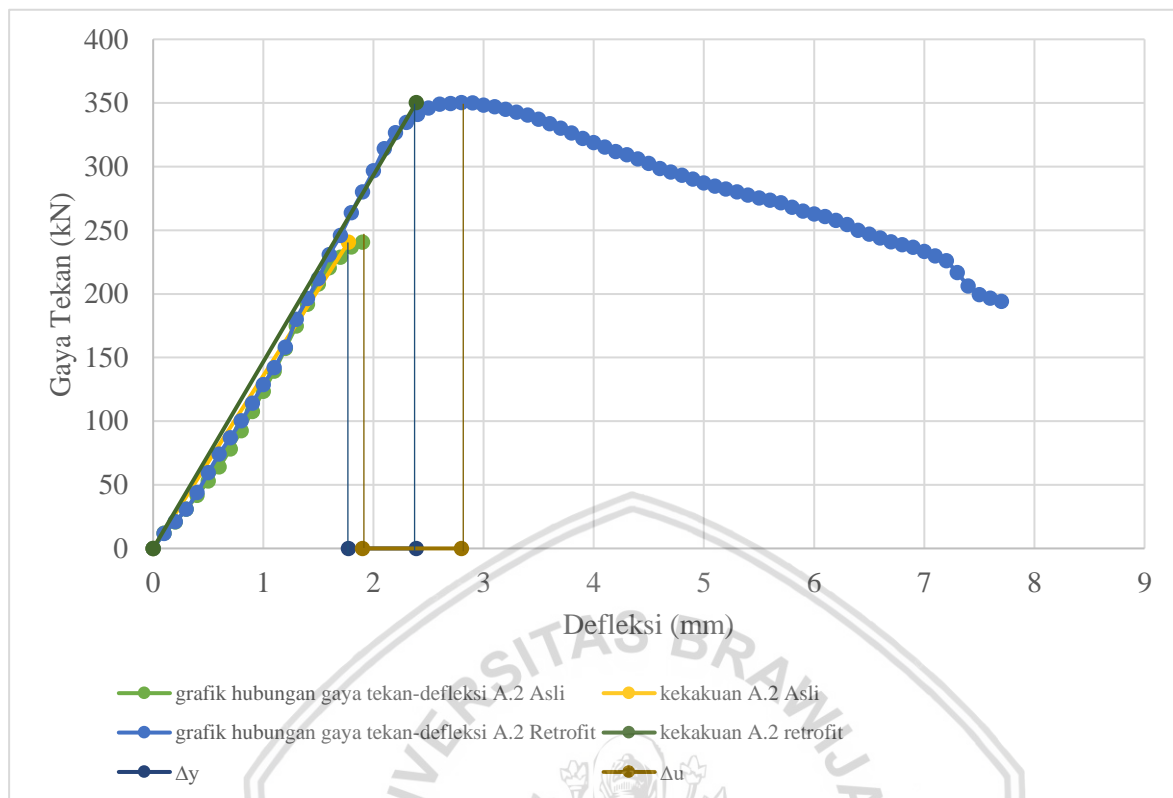
$$\mu_{\Delta} = \frac{2,2}{1,86}$$

$$\mu_{\Delta} = 1,18$$



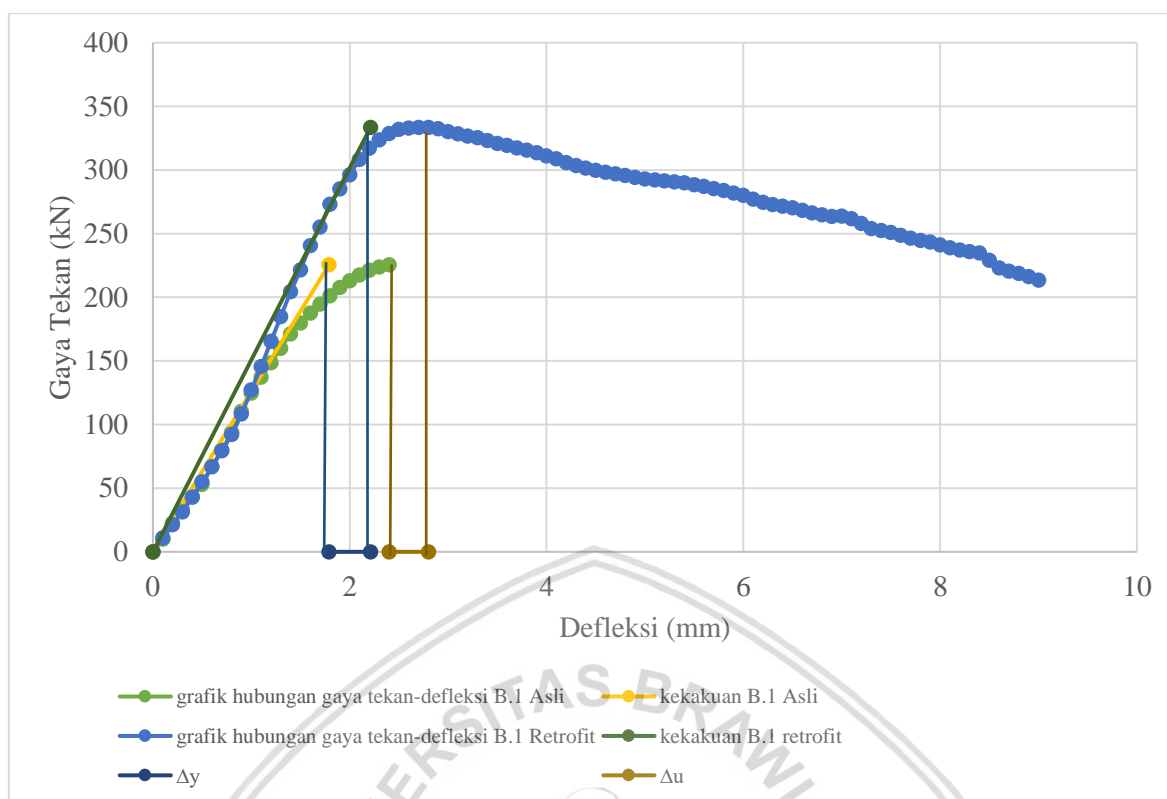
Gambar 4.37. Grafik perbandingan daktilitas kolom asli A.1 dengan kolom retrofit A.1

Untuk hasil analisis daktilitas pada kolom asli A.1 dengan kolom retrofit A.1 penentuan deformasi leleh sebesar 75% beban puncak dan deformasi ultimate pada beban puncak. Sehingga didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli A.1 sebesar 1,18 sedangkan nilai daktilitas pada kolom retrofit A.1 sebesar 1,44. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan daktilitas pada kolom retrofit A.1 sebesar 21,75 % dari daktilitas kolom asli A.1.



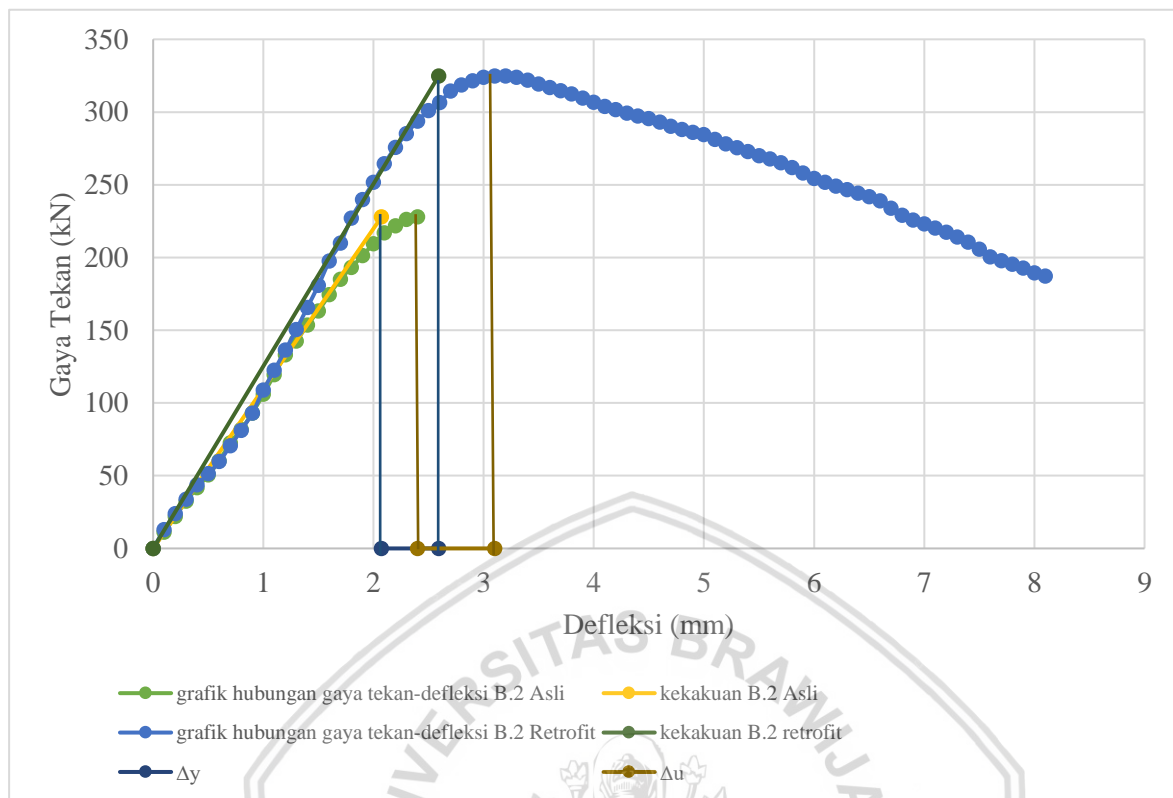
Gambar 4.38. Grafik perbandingan daktilitas kolom asli A.2 dengan kolom retrofit A.2

Untuk hasil analisis daktilitas pada kolom asli A.2 dengan kolom retrofit A.2 penentuan deformasi leleh sebesar 75% beban puncak dan deformasi ultimate pada beban puncak. Sehingga didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli A.2 sebesar 1,01 sedangkan nilai daktilitas pada kolom retrofit A.2 sebesar 1,17. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan daktilitas pada kolom retrofit A.2 sebesar 15,85 % dari daktilitas kolom asli A.2.



Gambar 4.39. Grafik perbandingan daktilitas kolom asli B.1 dengan kolom retrofit B.1

Untuk hasil analisis daktilitas pada kolom asli B.1 dengan kolom retrofit B.1 penentuan deformasi leleh sebesar 75% beban puncak dan deformasi ultimate pada beban puncak. Sehingga didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli B.1 sebesar 1,30 sedangkan nilai daktilitas pada kolom retrofit B.1 sebesar 1,26. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan daktilitas pada kolom retrofit B.1 sebesar 3,24 % dari daktilitas kolom asli B.1.



Gambar 4.40. Grafik perbandingan daktilitas kolom asli B.2 dengan kolom retrofit B.2

Untuk hasil analisis daktilitas pada kolom asli B.2 dengan kolom retrofit B.2 penentuan deformasi leleh sebesar 75% beban puncak dan deformasi ultimate pada beban puncak. Sehingga didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli B.2 sebesar 1,15 sedangkan nilai daktilitas pada kolom retrofit B.2 sebesar 1,20. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan daktilitas pada kolom retrofit B.2 sebesar 4,89 % dari daktilitas kolom asli B.2.

#### 4.10 Efektifitas Kolom Retrofit

##### 4.10.1 Efektifitas Kolom Retrofit A1 dengan Kolom Retrofit A2

Setelah dilakukan pengujian dan mendapatkan hasil dari penelitian perbaikan kolom asli A.1 dan kolom asli A.2 dengan metode *mortar jacketing*, digunakan variasi dengan kolom retrofit A.1 yang dipasang 4 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 10 mm dengan jarak antar sengkang sebesar 7 cm dibandingkan dengan kolom retrofit A.2 yang dipasang 4 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 10 mm dengan jarak antar sengkang sebesar 11 cm.

Tabel 4.34.

Tabel peningkatan Gaya Tekan Maksimum, Kekakuan, Modulus Elastisitas dan Daktilitas kolom retrofit A.1 dan kolom retrofit A.2

No	Kode Benda Uji Kolom	Peningkatan Gaya Tekan Maksimum (%)	Peningkatan Kekakuan (%)	Peningkatan Modulus Elastisitas (%)	Peningkatan Daktilitas (%)
1	A1	53,23	41,52	41,52	21,75
2	A2	45,59	14,45	14,45	15,85

Dari hasil yang diperoleh dan dibandingkan antara variasi A.1 dan A.2 menunjukkan bahwa jenis kolom A.1 dengan variasi jarak sengkang 7 cm memiliki peningkatan gaya tekan maksimum yang lebih tinggi sebesar 53,23 % sedangkan kolom A.2 45,59 %. Untuk peningkatan kekakuan dan modulus elastisitas kolom A.1 juga lebih tinggi dibandingkan jenis kolom A.2, yaitu kolom A.1 41,52 % dan kolom A.2 14,45 %. Demikian pula dengan peningkatan daktilitasnya, kolom A.1 memiliki peningkatan daktilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan kolom A.2, dimana kolom A.1 memiliki peningkatan daktilitas sebesar 21,75 % sedangkan kolom A.2 memiliki peningkatan daktilitas sebesar 15,85 %.

Untuk nilai efektifitas dari variasi jarak sengkang kolom A.1 dan A.2 diambil dari pertimbangan peningkatan gaya tekan maksimum dan daktilitas dari masing-masing variasi kolom retrofit yang dibandingkan. Hal ini dikarenakan nilai peningkatan kekakuan dan modulus elastisitas selalu berbanding lurus dengan gaya tekan maksimum, apabila peningkatan gaya tekan maksimum kolom retrofit yang dibandingkan lebih besar maka peningkatan kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit tersebut akan lebih besar juga, begitu juga sebaliknya. Oleh karena itu nilai efektifitas diambil dari peningkatan gaya tekan maksimum dan daktilitas.

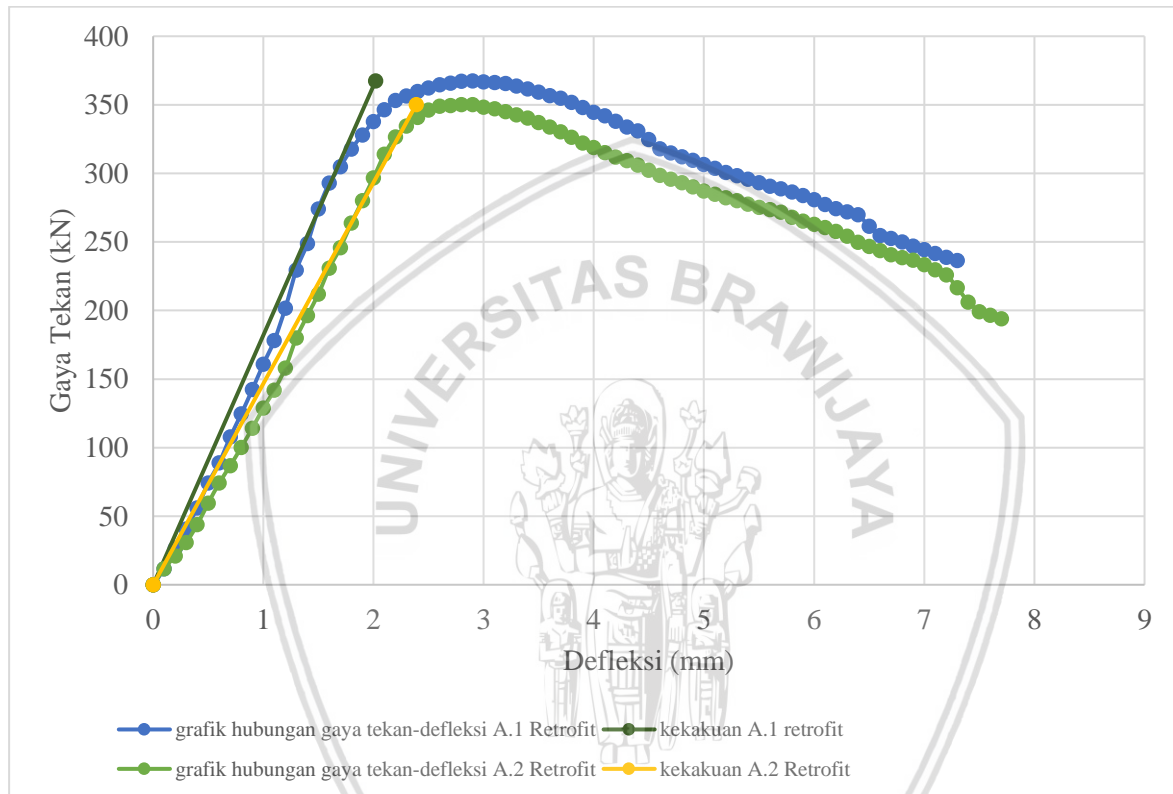
Tabel 4.35.

Tabel perbandingan efektifitas kolom retrofit A.1 dengan kolom retrofit A.2

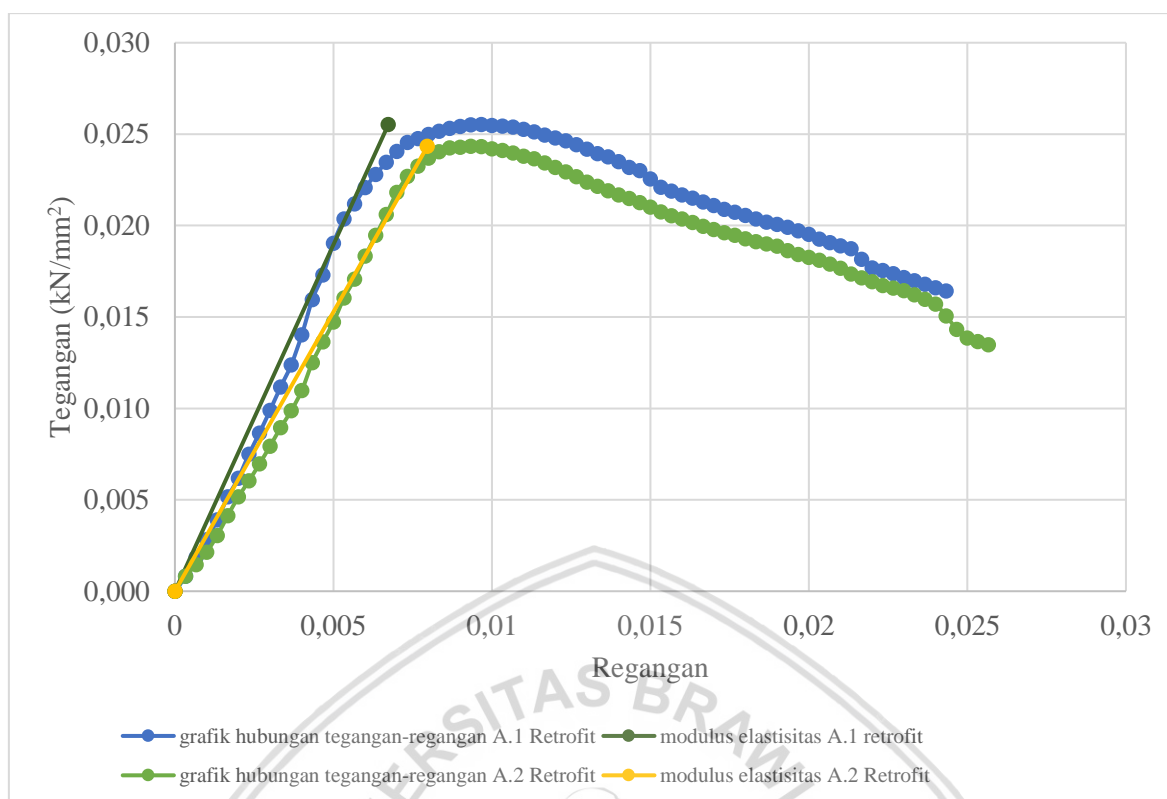
No	Kode Benda Uji Kolom	Peningkatan Gaya Tekan Maksimum (%)	Efektifitas (%)	Peningkatan Daktilitas (%)	Efektifitas (%)
1	A1	53,23	16,74	21,75	37,22
2	A2	45,59		15,85	



Dari data – data yang telah dianalisis dan tercatat dalam tabel 4.35, maka dapat disimpulkan bahwa kolom retrofit A.1 lebih efektif dibanding dengan kolom retrofit A.2. Karena efektifitas peningkatan daktilitas A.1 terjadi sangat besar dan peningkatan peningkatan gaya tekan maksimum A.1 juga lebih besar dibandingkan A.2. Dari hasil penelitian ini, menunjukkan bahwa semakin rapat jarak sengkang maka efek kekangan dari sengkang juga semakin besar. Efek kekangan dari sengkang inilah yang menyebabkan kolom memiliki nilai kuat tekan dan daktilitas yang lebih besar.



Gambar 4.41. Grafik perbandingan hasil gaya tekan-defleksi dan hasil kekakuan kolom retrofit A.1-A.2



Gambar 4.42. Grafik perbandingan tegangan-regangan dan hasil modulus elastisitas kolom kolom retrofit A.1-A.2

#### 4.10.2 Efektifitas Kolom Retrofit B1 dengan Kolom Retrofit B2

Setelah dilakukan pengujian dan mendapatkan data dari penelitian perbaikan pada kolom asli B.1 dan kolom asli B.2 dengan metode *mortar jacketing*, digunakan variasi kolom retrofit B.1 yang dipasang 8 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 5 mm dengan jarak antar sengkang sebesar 7 cm dibandingkan dengan kolom retrofit B.2 yang dipasang 8 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 5 mm dengan jarak antar sengkang sebesar 11 cm. Dari hasil yang diperoleh dan dibandingkan antara variasi B.1 dan B.2 menunjukkan bahwa jenis kolom B1 dengan variasi jarak sengkang 7 cm memiliki nilai gaya tekan maksimum, kekakuan, dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan jenis kolom B.2 dengan variasi jarak sengkang 11 cm.

Tabel 4.36.

Tabel peningkatan Gaya Tekan Maksimum, Kekakuan, Modulus Elastisitas dan Daktilitas kolom retrofit B.1 dan kolom retrofit B.2

No	Kode Benda Uji Kolom	Peningkatan Gaya Tekan Maksimum (%)	Peningkatan Kekakuan (%)	Peningkatan Modulus Elastisitas (%)	Peningkatan Daktilitas (%)
1	B1	47,92	22,68	22,68	-3,24
2	B2	42,50	15,72	15,72	4,89

Dari hasil yang diperoleh dan dibandingkan antara variasi B.1 dan B.2 menunjukkan bahwa jenis kolom B.1 dengan variasi jarak sengkang 7 cm memiliki peningkatan gaya tekan maksimum yang lebih tinggi sebesar 47,92 % sedangkan kolom B.2 42,72 %. Untuk peningkatan kekakuan dan modulus elastisitas kolom B.1 juga lebih tinggi dibandingkan jenis kolom B.2, yaitu kolom B.1 22,68 % dan kolom B.2 15,72 %. Sedangkan untuk daktilitasnya, kolom B.1 mengalami penurunan daktilitas sebesar 3,24 % dan kolom B.2 mengalami peningkatan sebesar 4,89 %. Sehingga untuk kolom B.1 dan B.2 dapat diketahui pengaruh variasi jarak sengkang terhadap daktilitas tidak terlalu signifikan.

Untuk nilai efektifitas dari variasi jarak sengkang kolom B.1 dan B.2 diambil dari pertimbangan peningkatan gaya tekan maksimum dan daktilitas dari masing-masing variasi kolom retrofit yang dibandingkan. Hal ini dikarenakan nilai peningkatan kekakuan dan modulus elastisitas selalu berbanding lurus dengan gaya tekan maksimum, apabila peningkatan gaya tekan maksimum kolom retrofit yang dibandingkan lebih besar maka peningkatan kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit tersebut akan lebih besar juga, begitu juga sebaliknya. Oleh karena itu nilai efektifitas diambil dari peningkatan gaya tekan maksimum dan daktilitas.

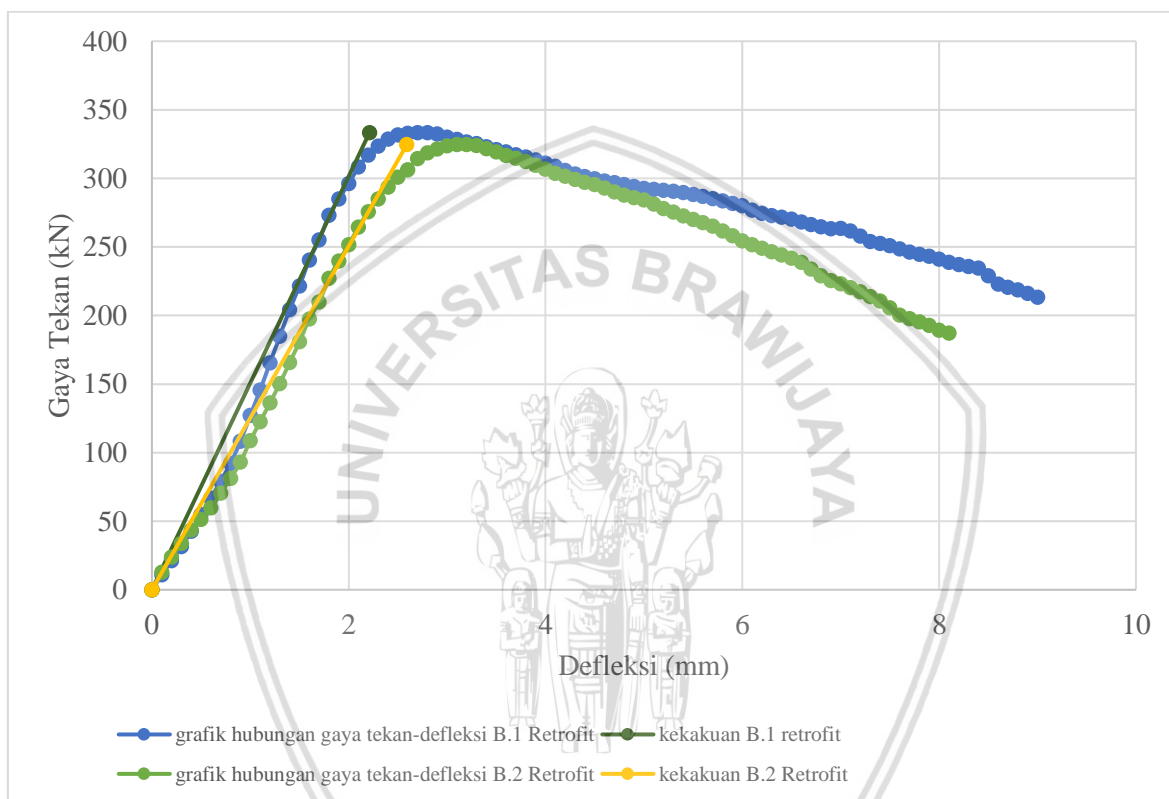
Tabel 4.37.

Tabel perbandingan efektifitas kolom retrofit B.1 dengan kolom retrofit B.2

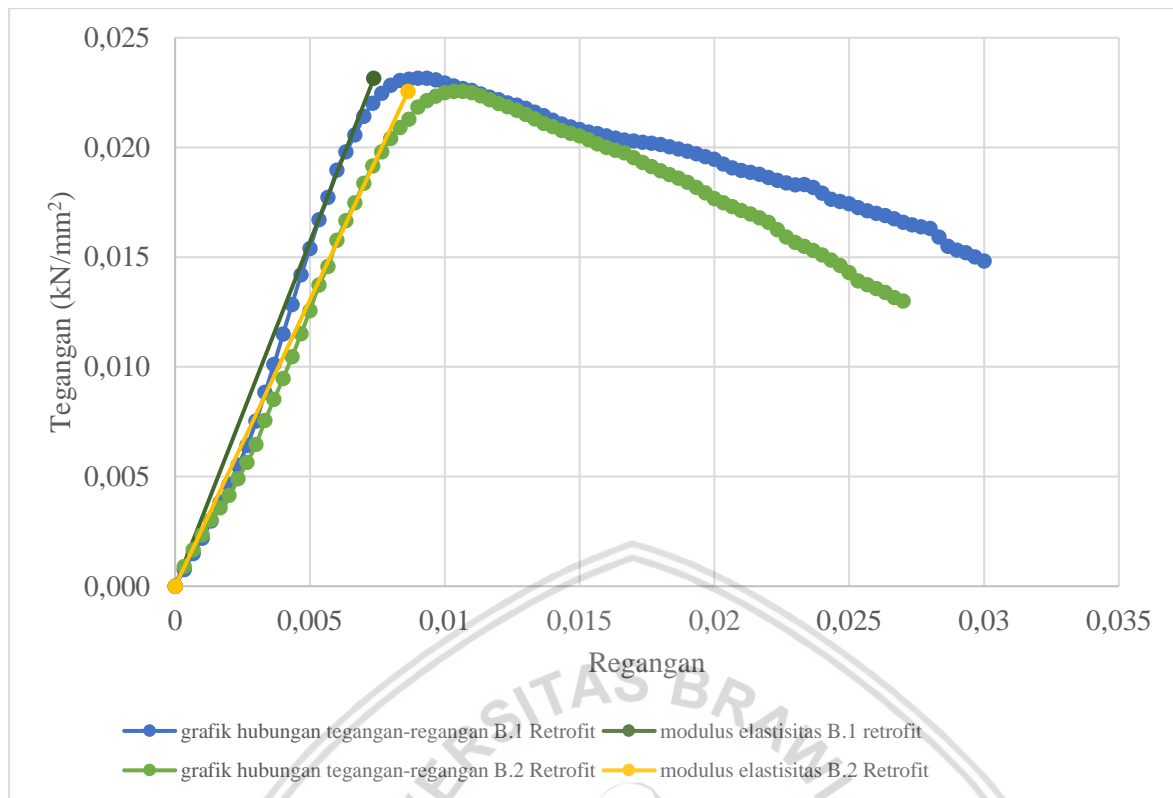
No	Kode Benda Uji Kolom	Peningkatan Gaya Tekan Maksimum (%)	Efektifitas (%)	Peningkatan Daktilitas (%)	Efektifitas (%)
1	B1	47,92	12,74	-3,24	-34
2	B2	42,50		4,89	

Dari data – data yang telah dianalisis dan tercatat dalam tabel di atas, maka dapat disimpulkan kolom retrofit B.1 lebih efektif dibanding dengan kolom retrofit B.2. Karena B.1 dan B.2 sama-sama memiliki perbedaan daktilitas yang tidak terlalu signifikan antara

kolom asli dan retrofitnya. Sedangkan untuk peningkatan gaya tekan maksimum, kolom retrofit B.1 memiliki peningkatan yang lebih tinggi dibandingkan kolom retrofit B.2. Oleh karena itu kolom retrofit B.1 lebih efektif dibandingkan B.2. Dari hasil penelitian ini, menunjukkan bahwa semakin rapat jarak sengkang maka efek kekangan dari sengkang juga semakin besar. Efek kekangan dari sengkang inilah yang menyebabkan kolom memiliki nilai kuat tekan yang lebih besar.



Gambar 4.43. Grafik perbandingan hasil gaya tekan-defleksi dan hasil kekakuan kolom retrofit B.1-B.2



Gambar 4.44. Grafik perbandingan tegangan-regangan dan hasil modulus elastisitas kolom asli dengan kolom retrofit B.1-B.2

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari hasil yang diperoleh dan dibandingkan antara variasi A.1 dan A.2 menunjukkan bahwa jenis kolom A.1 dengan variasi jarak sengkang 7 cm memiliki peningkatan gaya tekan maksimum yang lebih tinggi sebesar 16,74 % jika dibandingkan dengan kolom A.2. Sedangkan dari hasil yang diperoleh dan dibandingkan antara variasi B.1 dan B.2 menunjukkan bahwa jenis kolom B.1 dengan variasi jarak sengkang 7 cm memiliki peningkatan gaya tekan maksimum yang lebih tinggi sebesar 12,74 % dari pada jenis kolom B.2.
2. Kolom retrofit A.1 memiliki peningkatan kekakuan, dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan jenis kolom A.2 masing-masing 65,20 % dan 65,20 % dibandingkan jenis kolom A.2. Sedangkan kolom retrofit B.1 memiliki nilai kekakuan, dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan jenis kolom B.2 masing-masing 30,69 % dan 30,69 %. Untuk daktilitas, pada penelitian kali ini pengujian kolom asli dilakukan sampai pada beban puncak (*peak load*) oleh karena itu perhitungan daktilitas dilakukan pada beban puncak. Daktilitas kolom A.1 memiliki peningkatan daktilitas yang lebih efektif dibandingkan dengan kolom A.2, dimana kolom A.1 mengalami peningkatan daktilitas sebesar 21,75 % sedangkan kolom A.2 mengalami peningkatan daktilitas sebesar 15,85 %. Sedangkan untuk kolom B.1 dan B.2 sama-sama tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kolom asli dan retrofitnya. Untuk kolom B.1 mengalami penurunan daktilitas 3,24 % dan B.2 mengalami kenaikan daktilitas sebesar 4,89 %.
3. Untuk nilai efektifitas dari variasi jarak sengkang kolom diambil dari pertimbangan nilai gaya tekan maksimum dan daktilitas dari masing-masing variasi kolom retrofit yang dibandingkan. Hal ini dikarenakan nilai kekakuan dan modulus elastisitas selalu berbanding lurus dengan gaya tekan maksimum, apabila gaya tekan maksimum kolom retrofit yang dibandingkan lebih besar maka kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit tersebut akan lebih besar juga, begitu juga sebaliknya. Oleh karena itu nilai efektifitas diambil dari nilai gaya tekan maksimum dan daktilitas. Berdasarkan hasil

penelitian ini, kolom retrofit dengan variasi jarak sengkang 7 cm (kolom retrofit A.1 dan B.1) lebih efektif dibandingkan dengan jarak sengkang 11 cm (kolom retrofit A.2 dan B.2). Hal ini dikarenakan semakin rapat jarak sengkang yang dipasang maka efek kekangan dari sengkang tersebut akan semakin besar pula, sehingga menyebabkan peningkatan gaya tekan dan daktilitas.

## 5.2 Saran

Saran yang bisa diberikan kepada peneliti yang ingin melanjutkan daripada penelitian ini antara lain:

1. Metode pengadukan mortar pada awal menentukan komposisi bahan perlu disamakan dengan saat melakukan penelitian. Perbedaan metode pengadukan mortar menyebabkan adukan mortar yang berbeda-beda, hal ini mengakibatkan didapatkannya mutu mortar yang berbeda antara saat desain awal dan saat penelitian.
2. Penggunaan alat yang uji diusahakan sama meskipun pengujian pada hari yang berbeda. Alat yang berbeda menyebabkan perlunya dilakukan kalibrasi ulang pada saat awal sebelum penelitian. Selain itu alat yang berbeda bisa menghasilkan nilai yang berbeda. Oleh karena itu sebaiknya menggunakan alat yang sama untuk semua benda uji.
3. Perlekatan antara kolom asli dan retrofit perlu lebih di perhatikan. Pemberian *bonding* yang tidak merata antara kolom retrofit dan kolom asli akan berakibat pada kolom retrofit yang tidak bisa bekerja sebagai satu kesatuan. Hal ini berakibat pada hasil gaya tekan dan defleksi yang akan ditimbulkan. Oleh karena itu perlu diperhatikan dengan baik pada proses ini, atau mungkin bisa ditemukan bahan lain untuk melekatkan kolom retrofit dengan kolom asli sehingga dapat *monolite* secara sempurna.
4. Untuk menentukan daktilitas pada kolom asli seharusnya dibuat kolom kontrol, dimana kolom asli dilakukan pengujian sampai beban puncak, sedangkan kolom kontrol dilakukan pengujian sampai runtuh.



## DAFTAR PUSTAKA

- Cusson, D. dan Paultre, P. 1995. *Stress Strain Model for Confined High Strength Concrete*. Jurnal of Structural Engineering. Vol. 121 (3), halaman 468 – 477.
- Mander, J.B., Priestley, M. J. N., & Park, R. 1988. *Theoretical Stress Strain Model for Confined Concrete*. Jurnal of Structural Engineering. Vol. 114 (8), halaman 1804 – 1826.
- McCormac, JC. 2004. *Desain Beton Bertulang*. Jilid ke-1. Sumargo, penerjemah : Sinamarta L, editor. Jakarta: Penerbit Erlangga. Terjemahan dari : Design of Reinforced Concrete Fifth Edition.
- Morisco. 1999. *Rekayasa Bambu*. Nafiri Offset. Yogyakarta.
- Nawy, GE. 1985. *Beton Bertulang – Suatu Pendekatan Dasar*. Suryoatmono B, penerjemah. Bandung : PT. Refika Aditama. Terjemahan dari : Reinforced Concrete – A Fundamental Approach.
- Nurlina, S. 2008. *Struktur Beton*. Bargie Media. Malang.
- Nur R. 2018. *Pengaruh Kekangan Jarak Senggang Pada Perilaku Aksial Kolom Beton Bertulang yang Diperkuat Menggunakan Metode Jacket Beton Bertulang Bambu*. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya: Malang.
- Park,R & Paulay,T. 1974. *Reinforced Concrete Structures*. New Zealand : Departement of Civil Engineering, University of Canterbury.
- Rizky A. P. S. 2017. *Pengaruh Jarak Senggang Dari Metode Jacket Beton Bertulang Bambu Pada Kolom Beton Bertulang Ringan*. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya: Malang.
- SNI 2847-2013. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Tavio., Wimbadi. I., & Roro. 2011. *Studi Daktilitas Kurvatur Pada Kolom Persegi Panjang Beton Infrastruktur Bertulang Terkekang Dengan Menggunakan Visual Basic 6.0*. Seminas Nasional VII Penanganan Kegagalan Pembangunan dan Pemeliharaan. Surabaya : Institut Teknologi Surabaya.

- Halaman ini sengaja dikosongkan -

